

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DOUTORADO EM MANEJO DO SOLO

ANDRÉ DA COSTA

RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM SOLOS DE SANTA
CATARINA: AVALIAÇÃO E GERAÇÃO DE FUNÇÕES DE
PEDOTRANSFERÊNCIA

LAGES, SC

2012

ANDRÉ DA COSTA

**RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM SOLOS DE SANTA
CATARINA: AVALIAÇÃO E GERAÇÃO DE FUNÇÕES DE
PEDOTRANSFERÊNCIA**

Tese apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de doutor no Curso de Pós-
Graduação em Manejo do Solo da Universidade
do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Orientador: Dr. Jackson Adriano Albuquerque

Co-orientador: Dr. Jaime Antônio de Almeida

LAGES, SC

2012

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Costa;	Costa, André da Retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina: avaliação e geração de funções de pedotransferência / André da orientador: Jackson Adriano Albuquerque. – Lages, 2012. 423f.
	Inclui referências. Tese (doutorado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC.
retenção múltipla.	1. Capacidade de campo . 2. Ponto de murcha permanente . 3. Disponibilidade de água às plantas . 4. Pedofunções. 5. Curva de de água no solo. 6. Análise de trilha. 7. Análise de regressão I. Título.
	CDD – 631.4

ANDRÉ DA COSTA

RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM SOLOS DE SANTA CATARINA: AVALIAÇÃO E GERAÇÃO DE FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de doutor no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Aprovado em: ____/____/____

Homologado em: ____/____/____

Banca Examinadora:

Orientador/presidente

Dr. Jackson Adriano Albuquerque
(UDESC/Lages – SC)

Dr. Luciano Colpo Gatiboni

Coordenador Técnico do Curso de Mestrado e
Doutorado em Manejo do Solo

Co-orientador/membro

Dr. Jaime Antônio de Almeida
(UDESC/Lages – SC)

Dr. Leo Rufato

Coordenador Técnico do Curso de Doutorado em
Produção Vegetal e Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Ciências Agrárias –
UDESC/Lages – SC

Membro

Dr. David José Miquelluti
(UDESC/Lages – SC)

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral Dias

Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias – UDESC/Lages – SC

Membro

PhD José Miguel Reichert
(UFSM/Santa Maria – SC)

Membro

Dr. Milton da Veiga
(EPAGRI/Campos Novos – SC)

Lages, Santa Catarina
24 de fevereiro de 2012

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, a Deus, pela energia, saúde e lucidez concedidas durante esses quatro anos de caminhada.

À UDESC pela oportunidade de ensino e a CAPES pela bolsa concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pelo ensino e condições de trabalho.

Ao professor de física do solo, Dr. Jackson Adriano Albuquerque, pessoa a qual tenho uma grande consideração, por ter me orientado durante o curso para a construção da tese, e pelos conselhos e amizade durante os últimos 13 anos.

Ao professor Jaime Antonio de Almeida, grande conhecedor dos solos de Santa Catarina, pela orientação e boa vontade para viajar por todo o Estado de Santa Catarina.

Ao professor David José Miquelutti, o doutor da estatística, pela grande ajuda nos momentos de dúvida nas análises estatísticas.

A todos os professores do curso de Mestrado e Doutorado em Ciência do Solo, pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço a toda equipe de bolsistas e estágios do Laboratório de Física e Manejo do Solo, que foram de vital importância. Adriano, Rodrigo, Franciani, Patricia, Felipe, Josué, Maria Tereza, Bruno, Maria Isabel, Luiza, Paulo, o meu muito obrigado. Especialmente ao Adriano, que além de meu bolsista é meu irmão, ao Rodrigo, Franciani e Patricia pela ajuda nos trabalhos de coleta das amostras em 34 municípios de Santa Catarina e no laboratório para a realização das pesquisas.

Aos colegas de doutorado e mestrado, pela amizade e companheirismo ao longo destes quatro anos.

Aos meus pais e irmão, por terem me possibilitado conquistar este sonho; sem eles eu jamais seria um doutor, pois sempre me incentivaram e foram compreensivos quanto à minha ausência.

À minha esposa, Jaqueline, pelo companheirismo, incentivo, compreensão e amor dedicados nesses cinco anos em que estamos juntos.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

RESUMO

COSTA, Andre da. **Retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina: avaliação e geração de funções de pedotransferência**. 2012. 423 f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2012.

Estudos sobre a retenção e disponibilidade de água são escassos para as regiões de clima subtropical ou temperado úmido do hemisfério sul. Os objetivos deste estudo foram avaliar, gerar e validar funções de pedotransferência (FPTs) para estimar a retenção e a disponibilidade de água em solos de Santa Catarina. Foram amostrados 44 perfis, em áreas sob diferentes coberturas vegetais, para determinar a retenção de água nas sucções de zero até 1.500 kPa, a distribuição do tamanho de partículas (7 classes), o teor de matéria orgânica, a densidade do solo e de partículas, a condutividade hidráulica e a estabilidade de agregados. Em relação aos atributos, solos com textura mais fina e/ou com maior teor de MO retêm maior conteúdo de água, sendo a MO é o principal atributo que governa a disponibilidade de água, principalmente nos horizontes superficiais. Algumas classes de areia, principalmente as areias muito fina, fina e grossa, possuem maiores efeitos sobre disponibilidade de água do que a fração silte. Os solos com classes texturais contrastantes, com elevados teores de argila ou de areia, disponibilizam o mesmo conteúdo de água disponível, embora os arenosos tenham baixa capacidade de campo. Maior conteúdo de água disponível ocorre em solos das classes com textura franca e com maior teor de MO, enquanto que a menor disponibilidade ocorre em solos da classe areia. Em relação à litologia, ocorre uma maior retenção em solos derivados de rochas ígneas extrusivas da Formação Serra Geral, e de rochas metamórficas, ígneas intrusivas e sedimentares de textura fina, e menor nos derivados de rochas ou depósitos sedimentares ricos em quartzo. Maior disponibilidade de água ocorre em solos derivados de siltitos e o menor em solos derivados de granito e de depósitos aluvionares recentes. Em relação às classes de solos (subordens), a retenção de água é maior nos Cambissolos, Nitossolos e Latossolos e menor nos Neossolos Quartzarênicos. Em relação às regiões, os solos do Meio Oeste e Oeste, Planalto Serrano e Vale do Itajaí possuem elevada retenção de água, enquanto que, nos da **Serra Leste** é intermediária e os do Litoral é baixa. Os Cambissolos Húmicos e os Neossolos Litólicos, localizados no Planalto Serrano, têm maior

disponibilidade de água, principalmente devido aos elevados teores de matéria orgânica. Em relação aos tipos de solos da instrução normativa n. 2/2008 do MAPA (BRASIL, 2008), que classifica os solos em função do teor de argila e areia, observa-se que a mesma não é adequada para classificar os solos catarinenses quanto a disponibilidade de água. Entretanto, a condutividade hidráulica não saturada é menor nos solos do Tipo 1. Em relação às funções de pedotransferência (FPTs) publicadas na literatura, elas estimam melhor a retenção do que a disponibilidade de água, com maior precisão pelas funções originadas de regiões de clima subtropical e para os horizontes subsuperficiais do solo. A maioria das funções avaliadas subestima a retenção de água, com erros maiores nos solos com 20 a 60% de argila. Quanto às funções geradas para os solos de Santa Catarina, as que melhor estimam a retenção e disponibilidade de água são aquelas ajustadas separadamente para os horizontes superficiais e subsuperficiais. Para estimar a retenção de água devem ser utilizadas as FPTs pontuais que incluem dados de textura, matéria orgânica do solo e suas interações. Para estimar a disponibilidade de água devem ser utilizadas as FPTs pontuais que utilizam as cinco classes de areia, silte, argila, matéria orgânica, densidade do solo e de partículas, porosidade total e suas interações. As FPTs paramétricas estimam adequadamente a curva de retenção de umidade do solo para a maioria das classes texturais, quando são incluídos dados de textura, matéria orgânica, densidade do solo e de partículas, porosidade total e suas interações como variáveis preditoras. As FPTs de classe estimam adequadamente a curva de retenção de água do solo para a maioria das classes texturais dos solos de Santa Catarina.

Palavras-chave:. Capacidade de campo. Ponto de murcha permanente. Disponibilidade de água às plantas. Pedofunções. Curva de retenção de água no solo. Análise de trilha. Análise de regressão múltipla.

COSTA, Andre. **Water retention and availability in soils of Santa Catarina: Evaluation and generation of pedotransfer functions**. 423 f. Thesis (Doctorate in Soil Management) – Santa Catarina State University. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2012.

Studies on the retention and availability of water are scarce for humid subtropical and temperate regions in the Southern Hemisphere. The objectives of this study were to evaluate, generate and validate some pedotransfer functions (PTFs) to estimate the retention and the availability of water in soils of Santa Catarina. Were sampled 44 profiles, in areas under different vegetal coverings, to determine the water retention at suctions from zero to 1.500 kPa, the particles size distribution (7 classes), the organic matter content, the bulk density and particle density of soil, the conductivity hydraulic, and the aggregate stability. Regarding the attributes, soils with finer texture and / or more organic matter retain higher water content, where the organic matter is the main attribute that governs the availability of water, mainly in the surface horizons. Some classes of sand, mainly very fine sand, fine and coarse fractions, have greater effects on water availability than the silt fraction. The soils with contrasting textural classes, with high contents of clay or sand, have the same content of water available, although the sand soils have very low field capacity. Increased water availability occurs in soils with textural class loam, with higher content of organic matter and the lower availability occurs in sand class soils. In relation to lithology, there is a higher retention in soils derived from igneous extrusive rocks of the Serra Geral Formation, metamorphic, intrusive igneous, and sedimentary with fine texture, and a lower retention in those derived from rocks or sedimentary deposits rich in quartz. Increased availability of water occurs in soils derived from siltstone and less in soils derived from granite and recent alluvial deposits. Regarding soil classes (suborders), the water retention is higher in Cambisols, Ferralsols and Nitisols, and lower in Quartzarenic Neosols. In relation the regions, the soils of the Midwest and West, Serrano Highlands and Valley of Itajaí have high water retention, the intermediary are the Eastern Sierra, and lower in the coast. Humic Cambisols and Entisols, located in the Serrano Highlands has increased availability of water, mainly because of high contents of organic matter. In relation to soil types in the normative instruction n. 2/2008 of the MAPA (BRAZIL, 2008), which classifies the soils as a function of clay and sand, it is observed that is not adequate to classify the soils of Santa Catarina in terms of availability of water, although, the

hydraulic conductivity of the unsaturated soil is lower in Type 1 soils. In relation the pedotransfer functions of literature, they better estimate the retention than water availability and with greater precision by the functions originated from climate regions subtropical and for the subsurface horizons of the soil. Most functions evaluated underestimates the water retention, with greater deviations in soils with 20-60 % clay. About the functions generated for the soils of Santa Catarina, the estimation of retention and availability of water was better in those adjusted separately for surface and subsurface horizons. To estimate the water retention, the point PTFs must be used including data of the texture, organic matter and their interactions. To estimate the availability, the point PTFs should include the five classes of sand, silt, clay, organic matter, soil bulk density, soil particles density, total porosity and their interactions. The parametrics PTFs estimate properly the water retention curve for most of the textural classes of the soil, when data of texture, organic matter, soil bulk density, soil particles density, total porosity and their interactions are included as predictors. The class PTFs estimate properly the water retention curve for most of the soil textural classes of Santa Catarina.

Keywords: Field capacity. Permanent wilting point. Plant available water. Pedofunctions. Water retention curve. Path analysis. Muliple regression analysis.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Alguns exemplos de funções de pedotransferência.	32
Tabela 2.	Algumas calibrações de técnicas de medição.	37
Tabela 3.	Propriedades do solo que afetam a retenção de água no solo (adaptado de RAWLS, GISH e BRAKENSIEK, 1991).	42
Tabela 4.	Modelos publicados na literatura para propriedades hidráulicas do solo.	44
Tabela 5.	Parâmetros médios da curva de retenção de água para a equação de van GENUCHTEN (θ_r , θ_s , α e n), de acordo com as classes texturais propostas pela USDA (USDA, 1975) obtidos por SCHAAP, LEIJ e van GENUCHTEN (1998).	44
Tabela 6.	Parâmetros médios para condutividade hidráulica do solo para a equação de van GENUCHTEN (K_s , l) utilizando o critério de Mualem, de acordo com as classes texturais proposta pelo USDA (USDA, 1975) obtidos por SCHAAP, LEIJ e van GENUCHTEN (1998).	45
Tabela 7.	Classe de solo, localização, litologia, horizontes amostrados e altitude dos 44 perfis de solos do Estado de Santa Catarina, utilizados para determinação da capacidade de campo, ponto de murcha permanente e conteúdo de água disponível, 2010.	61
Tabela 8.	Informações sobre o banco de dados utilizado para a validação das FPTs publicadas na literatura que estimam a umidade do solo e/ou a disponibilidade de água de amostras de solo com estrutura preservada. Santa Catarina, 2012.	70
Tabela 9.	Estatística descritiva dos atributos dos solos do Estado de Santa Catarina utilizados para validar algumas FPTs publicadas na literatura. Santa Catarina, 2012.	71
Tabela 10.	FPTs publicadas na literatura utilizadas para estimar a umidade gravimétrica e volumétrica do solo.	72
Tabela 11.	Informações adicionais sobre o banco de dados que originou FPTs publicadas na literatura utilizadas para estimar a umidade do solo.	74
Tabela 12.	Classificação para o índice de desempenho utilizando funções de pedotransferência para estimativa da retenção e disponibilidade de água nos solos de Santa Catarina, 2011.	78
Tabela 13.	Classe de solo (subordem), município e horizontes dos bancos de dados utilizados para a geração e/ou validação das FPTs que estimam a retenção ou	

disponibilidade de água em solos de Santa Catarina resultantes da partição do banco de dados utilizado no Estudo 1, 2012.....	82
Tabela 14. Informações sobre o banco de dados utilizado para gerar e/ou validar as funções de pedotransferência que estimam a umidade do solo e/ou a disponibilidade de água de amostras de solo com estrutura preservada. Santa Catarina, 2012.....	83
Tabela 15. Estatística descritiva dos atributos dos solos utilizados para gerar e validar as funções de pedotransferência a partir de solos de Santa Catarina, 2012.	90
Tabela 16. Estatística descritiva dos atributos dos solos utilizados exclusivamente para validar as funções de pedotransferência geradas a partir de solos de Santa Catarina, 2012.....	91
Tabela 17. Número de horizontes utilizados para geração das FPTs de classe, divididos por classe textural, nos horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos de Santa Catarina.....	97
Tabela 18. Número de horizontes utilizados para validação das FPTs de classe divididos por classe textural dos horizontes superficiais e subsuperficiais dos Solos de Santa Catarina.....	98
Tabela 19. Estatística descritiva de diferentes atributos do solo correlacionados com a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) em <u>horizontes superficiais</u> de alguns perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.	100
Tabela 20. Estatística descritiva de diferentes atributos do solo correlacionados com a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) em <u>horizontes subsuperficiais</u> de alguns perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.	101
Tabela 21. Índice de correlação linear de Pearson (r) entre diferentes atributos do solo com a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) em <u>horizontes superficiais</u> de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.	104
Tabela 22. Índice de correlação linear de Pearson (r) entre diferentes atributos do solo com a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) em <u>horizontes subsuperficiais</u> de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.	105
Tabela 23. Coeficientes de determinação obtidos entre regressões lineares múltiplas e utilizando diferentes efeitos fixos para predição da capacidade de campo (CC = 10 kPa), ponto de murcha permanente (PMP =1.500 kPa), e conteúdo de água disponível (AD) em diferentes horizontes de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.	113

- Tabela 24.** Coeficientes de correlação considerando os efeitos diretos e indiretos, obtidos através da análise de trilha, dentre os teores de argila, silte e densidade de partículas (Dp) e carbono orgânico total (COT), com a capacidade de campo (10 kPa), ponto de murcha permanente (1.500 kPa), e conteúdo de água disponível em horizontes superficiais e subsuperficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012..... 114
- Tabela 25.** Coeficientes de correlação considerando os efeitos diretos e indiretos, obtidos através da análise de trilha, dentre os teores de areias (1 fração), silte e densidade de partículas (Dp) e carbono orgânico total (COT), com a capacidade de campo (10 kPa), ponto de murcha permanente (1.500 kPa), e conteúdo de água disponível em horizontes superficiais e subsuperficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012..... 115
- Tabela 26.** Coeficientes de correlação considerando os efeitos diretos e indiretos, obtidos através da análise de trilha, dentre os teores de areias (2 frações), silte e densidade de partículas (Dp) e carbono orgânico total (COT), com a capacidade de campo (10 kPa), ponto de murcha permanente (1.500 kPa), e conteúdo de água disponível em horizontes superficiais e subsuperficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012..... 116
- Tabela 27.** Coeficientes de correlação considerando os efeitos diretos e indiretos, obtidos através da análise de trilha, dentre os teores de areias (5 frações), silte e densidade de partículas (Dp) e carbono orgânico total (COT), com a capacidade de campo (10 kPa) e no ponto de murcha permanente (1.500 kPa), e conteúdo de água disponível em horizontes superficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012..... 118
- Tabela 28.** Coeficientes de correlação considerando os efeitos diretos e indiretos, obtidos através da análise de trilha, dentre os teores de areias (5 frações), silte e densidade de partículas (Dp) e carbono orgânico total (COT), com a capacidade de campo (10 kPa), ponto de murcha permanente (1.500 kPa), e conteúdo de água disponível em horizontes subsuperficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012..... 119
- Tabela 29.** Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados conforme a classes texturais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012. 129
- Tabela 30.** Conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados conforme a classes texturais de solos no Estado de Santa Catarina, 2012..... 130
- Tabela 31.** Número de horizontes (n.), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para argila, silte, areia e carbono orgânico total (COT) em solos agrupados por classe textural dos solos do Estado de Santa Catarina, 2012..... 131
- Tabela 32.** Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) médios para as classes

texturais (USDA, 1993) de solos do EUA, estimados pela equação de BROOKS e COREY (1964) conforme os parâmetros sugeridos por RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON (1982)..... 134

Tabela 33. Capacidade de campo ($CC, \text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) médios para as classes texturais (USDA, 1993) de solos do EUA, estimados pela equação de van GENUCHTEN (1980) conforme os parâmetros sugeridos por HODNETT e TOMASELLA (2002) para solos de clima tropical e temperado..... 137

Tabela 34. Capacidade de campo ($CC, \text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), expressos em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, em solos de agrupados por litologia no Estado de Santa Catarina, 2012..... 142

Tabela 35. Conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em solos agrupados por litologia no Estado de Santa Catarina, 2012. 143

Tabela 36. Número de horizontes (n°), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para argila, silte, areia e carbono orgânico total (COT) em solos agrupados por litologia no Estado de Santa Catarina, 2012. 145

Tabela 37. Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) em diferentes classes de solo (subordens) utilizando o SiBCS (EMBRAPA, 2006) no Estado de Santa Catarina, 2012..... 146

Tabela 38. Conteúdo de água disponível (AD) em diferentes classes de solos (subordens) utilizando o SiBCS (EMBRAPA, 2006) no Estado de Santa Catarina, 2012. ... 147

Tabela 39. Número de horizontes (n.), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para argila, silte, areia e carbono orgânico total (COT) em solos agrupados por classes de solos (subordens) utilizando o SiBCS (EMBRAPA, 2006) Estado de Santa Catarina, 2012..... 148

Tabela 40. Capacidade de campo ($CC, \text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados por região geográfica do Estado de Santa Catarina, 2012..... 152

Tabela 41. Conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados por região geográfica do Estado de Santa Catarina, 2012. 152

Tabela 42. Número de perfis (n), Altitude média (m), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para os teores de argila, silte, areia e carbono orgânico total (COT) na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solos agrupados por região geográfica no Estado de Santa Catarina, 2012..... 153

Tabela 43. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados por Tipo de Solo utilizando a IN 2/2008 do MAPA em solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....	157
Tabela 44. Conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados por Tipo de Solo, utilizando a IN 2/2008 do MAPA em solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	158
Tabela 45. Número de horizontes (n.), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para argila, silte, areia e carbono orgânico total (COT) em solos agrupados por Tipo de Solo (IN 2/2008 do MAPA) no Estado de Santa Catarina, 2012.	158
Tabela 46. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solos agrupados por Tipo de Solo utilizando a IN 2/2008 do MAPA em solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....	159
Tabela 47. Conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e capacidade de água disponível (CAD, mm) na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solos agrupados por Tipo de Solo utilizando a IN 2/2008 do MAPA em solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	159
Tabela 48. Número perfis (n), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para argila, silte, areia e carbono orgânico total (COT) na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solos agrupados por Tipo de Solo (IN 2/2008 do MAPA) no Estado de Santa Catarina, 2012.	159
Tabela 49. Parâmetros estatísticos e equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada para as equações de pedotransferência avaliadas utilizando amostras de solos coletadas em horizontes superficiais do Estado de Santa Catarina, 2012.	173
Tabela 50. Raiz do erro quadrático médio (REQM), raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de confiança (c) e desempenho de diferentes equações de pedotransferência avaliadas em solos coletadas de horizontes <u>superficiais</u> do Estado de Santa Catarina, 2012.	174
Tabela 51. Parâmetros estatísticos e equações ajustadas entre a umidade medida e a observada para as equações de pedotransferência avaliadas utilizando amostras de solos coletadas em horizontes <u>subsuperficiais</u> do Estado de Santa Catarina, 2012.	182
Tabela 52. Raiz do erro quadrático médio (REQM), raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de confiança (c) e desempenho de diferentes equações de pedotransferência avaliadas utilizando amostras de	

solos coletadas em horizontes <u>subsuperficiais</u> do Estado de Santa Catarina, 2012.	183
Tabela 53. Parâmetros estatísticos e equações ajustadas entre o conteúdo de água disponível medido e a estimado através de equações de pedotransferência da literatura em horizontes <u>superficiais</u> de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	188
Tabela 54. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de confiança (c) e desempenho entre o conteúdo de água disponível medido e a estimado através de equações de pedotransferência da literatura em horizontes <u>superficiais</u> de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	189
Tabela 55. Parâmetros estatísticos e equações ajustada entre o conteúdo de água disponível medido e a estimado através de equações de pedotransferência da literatura em horizontes <u>subsuperficiais</u> de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	194
Tabela 56. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de confiança (c) e desempenho entre o conteúdo de água disponível medido e a estimado através de equações de pedotransferência da literatura em horizontes <u>subsuperficiais</u> de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	195
Tabela 57. Funções de pedotransferência recomendadas para estimar a umidade gravimétrica dos solos de Santa Catarina, 2012.	198
Tabela 58. Funções de pedotransferência recomendadas para estimar a umidade volumétrica dos solos de Santa Catarina, 2012.	200
Tabela 59. Número de amostras utilizadas para calcular o erro médio (EM) entre os dados medidos e estimados por equações de pedotransferência separadas por classe textural para os horizontes superficiais e subsuperficiais de solos de Santa Catarina, 2012.	202
Tabela 60. Erro médio (EM) entre os dados medidos e estimados por equações de pedotransferência (umidade gravimétrica) separados por classe textural do solo, utilizando horizontes superficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	203
Tabela 61. Erro médio (EM) entre os dados medidos e estimados por equações de pedotransferência (umidade gravimétrica) separados por classe textural do solo, utilizando horizontes subsuperficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	204

Tabela 62. Erro médio (EM) entre os dados medidos e estimados por equações de pedotransferência (umidade volumétrica) separados por classe textural do solo, utilizando horizontes superficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	205
Tabela 63. Erro médio (EM) entre os dados medidos e estimados por equações de pedotransferência (umidade volumétrica) separados por classe textural do solo, utilizando horizontes subsuperficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	206
Tabela 64. Estatística descritiva dos teores de matéria orgânica (g kg^{-1}) existentes nos bancos de dados das funções de pedotransferência avaliadas.	212
Tabela 65. Estatística descritiva da densidade do solo (g cm^{-3}) existentes nos bancos de dados das funções de pedotransferência avaliadas.	212
Tabela 66. Estatística descritiva das frações granulométricas dos solos (g kg^{-1}) existentes nos bancos de dados das funções de pedotransferência avaliadas.	213
Tabela 67. Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no Modelo 1: Granulometria do solo e suas interações , para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	217
Tabela 68. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no Modelo 1 utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....	218
Tabela 69. Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no Modelo 2: Granulometria do solo e suas interações , para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.	223
Tabela 70. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no Modelo 2 utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....	224

- Tabela 71.** Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 3: Granulometria do solo e matéria orgânica (MO)**, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....228
- Tabela 72.** Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 3** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....229
- Tabela 73.** Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 4: Granulometria do solo e matéria orgânica suas interações**, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012. 233
- Tabela 74.** Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 4** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....234
- Tabela 75.** Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 5: Granulometria do solo, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total**, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012. ..238
- Tabela 76.** Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 5** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....239
- Tabela 77.** Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 6: Granulometria do solo,**

matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....242

Tabela 78. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 6** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....243

Tabela 79. Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 7: Cinco classes de areia, silte, argila, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações**, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012. 247

Tabela 80. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 7** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....248

Tabela 81.FPTs para estimar os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) utilizando 3 diferentes modelos (conjuntos de variáveis independentes) para os horizontes superficiais (A) e subsuperficiais (B/C) dos solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....255

Tabela 82. Número de amostras (N), raiz do erro quadrático médio (REQM), raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), tendência percentual (Pbias), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2), para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de **pedotransferência paramétricas** do **Modelo 4 (Textura do solo, matéria orgânica e suas interações)**, utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012. 256

Tabela 83. Número de amostras (N), raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), tendência percentual (Pbias), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente

angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas nas **FPTs paramétricas no Modelo 6 (Textura do solo, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações)**, utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012. 258

Tabela 84. Banco utilizado para a validação, número de amostras (N), raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), tendência percentual (Pbias), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas nas **FPTs paramétricas no Modelo 7 (cinco classe de areia, silte, argila, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações)**, utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....260

Tabela 85. Parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) para as FPTs de classe em solos de Santa Catarina, 2012.....266

Tabela 86. Número de amostras (N), Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas nas **FPTs de classe** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.....267

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Enfoque estático (a) e dinâmico (b) utilizando funções de pedotransferência para prever a qualidade do solo (Adaptado de BUDIMAN, MC BRATNEY <i>et al.</i> , 2003).....	33
Figura 2.	Nível de informação disponível para as FPTs hidráulicas.....	34
Figura 3.	Níveis de conhecimento para prever as propriedades do solo (BOUMA e DROOGERS, 1999).	36
Figura 4.	Coeficiente de murchamento em função da argila (dados de BRIGGS e SHANTZ, 1912).	39
Figura 5.	Modelo físico-empírico que transforma a distribuição de partículas na curva de retenção de água.	46
Figura 6.	Estrutura de uma rede neural.	52
Figura 7.	Distribuição geográfica dos 44 perfis de solo no Estado de Santa Catarina.	63
Figura 8.	Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados conforme a classes textural de solos de Estado de Santa Catarina, 2012. * número fora do parêntesis corresponde ao valor médio do atributo e o número entre parêntesis corresponde ao total de horizontes avaliados em cada classe textural.	132
Figura 9.	Curva de retenção de água e parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980), na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solo agrupados por Tipo de Solo (IN 2/2008 do MAPA) no Estado de Santa Catarina, 2012.	163
Figura 10.	Curva da condutividade hidráulica relativa estimada pelo modelo de van GENUCHTEN (1980), na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solo agrupados por Tipo de Solo (IN 2/2008 do MAPA) no Estado de Santa Catarina, 2012. * sucção em hPa.	163
Figura 11.	Relação entre a umidade estimada por funções de pedotransferência existentes na literatura e a umidade medida em horizontes superficiais de solos de Santa Catarina.	172
Figura 12.	Relação entre a umidade estimada por treze funções de pedotransferência existentes na literatura e a umidade medida em horizontes subsuperficiais de solos de Santa Catarina.	181

Figura 13. Relação entre a massa de água disponível estimado através de funções de pedotransferência da literatura com a massa de água disponível medida em horizontes superficiais de solos de Santa Catarina, 2012.	186
Figura 14. Relação entre o volume de água disponível estimado através de funções de pedotransferência da literatura com o volume de água disponível medido em horizontes superficiais de solos de Santa Catarina, 2012.	187
Figura 15. Relação entre a massa de água disponível estimado através de funções de pedotransferência da literatura com a massa de água disponível medida em horizontes <u>subsuperficiais</u> de solos de Santa Catarina, 2012.	192
Figura 16. Relação entre o volume de água disponível estimado através de funções de pedotransferência da literatura com o volume de água disponível medido em horizontes <u>subsuperficiais</u> de solos de Santa Catarina, 2012.	193

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	24
1.1	HIPÓTESES.....	28
1.2	OBJETIVOS.....	28
1.2.1	Objetivo geral	28
1.2.2	Objetivos específicos	28
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	30
2.1	FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA	30
2.2	HISTÓRICO DAS FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA RELACIONADAS À HIDROLOGIA DO SOLO.....	38
2.3	FPTS PARA A CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA.....	41
2.4	FPTS PARA ESTIMATIVA DA RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM SOLOS DO BRASIL.....	47
2.5	MÉTODOS PARA ESTIMAR A RETENÇÃO DE ÁGUA UTILIZANDO FPTS..	49
2.5.1	Regressão linear múltipla	49
2.5.2	Regressões não lineares estendidas	50
2.5.3	Redes neurais artificiais	50
2.5.4	Outros métodos de ajuste.....	53
2.6	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA.....	54
2.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
3	MATERIAL E MÉTODOS	60
3.1	ESTUDO 1: RELAÇÕES ENTRE A RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA COM OS ATRIBUTOS DOS SOLOS	60
3.1.1	Perfis dos solos amostrados	60
3.1.2	Coleta de amostras	63
3.1.3	Determinações de laboratório	63
3.1.4	Banco de dados	64
3.1.5	Análise estatística	65
3.2	ESTUDO 2: RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM DIFERENTES AGRUPAMENTOS DOS SOLOS	66
3.3	ESTUDO 3: AVALIAÇÃO DE FPTS DA LITERATURA.....	68
3.3.1	Banco de dados	68
3.3.2	Funções de pedotransferência avaliadas.....	68
3.3.3	Indicadores estatísticos utilizados para a avaliação das funções de pedotransferência.....	75
3.4	ESTUDO 4: FPTS CONTÍNUAS E PARAMÉTRICAS PARA SOLOS	80

3.4.1 Banco de dados	80
3.4.2 Modelos de FPTs contínuas pontuais avaliadas	84
3.4.3 Funções de pedotransferência contínuas paramétricas	92
3.4.4 Funções de pedotransferência de classe	96
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
4.1 ESTUDO 1: RELAÇÕES ENTRE A RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA COM OS ATRIBUTOS DOS SOLOS	99
4.1.1 Correlações entre CC, PMP e AD e os demais atributos do solo	102
4.1.2 Análise de Trilha entre a retenção e disponibilidade de água com os atributos físicos do solo	111
4.1.3 Discussão dos resultados observados pelas análise de correlação e de trilha.....	121
4.1.4 Considerações finais	125
4.2 ESTUDO 2 - RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM DIFERENTES AGRUPAMENTOS DE SOLOS	127
4.2.1 Retenção de água <i>versus</i> classe textural	127
4.2.2 Retenção e disponibilidade de água <i>versus</i> litologia do solo	139
4.2.3 Retenção e disponibilidade de água <i>versus</i> classes de solo.....	144
4.2.4 Retenção e disponibilidade de água <i>versus</i> regiões geográficas	149
4.2.5 Retenção e disponibilidade de água <i>versus</i> tipo de solo – IN 2/2008 do MAPA	154
4.2.6 Considerações finais	164
4.3 ESTUDO 3: AVALIAÇÃO DE FPTs DA LITERATURA	166
4.3.1 Estimativa da retenção de água nos horizontes superficiais por funções de pedotransferência publicadas da literatura.....	166
4.3.2 Estimativa da retenção de água nos horizontes subsuperficiais por funções de pedotransferência publicadas na literatura.....	175
4.3.3 Disponibilidade de água estimada nos horizontes superficiais dos solos.....	184
4.3.4 Estimativa da umidade disponível nos horizontes subsuperficiais dos solos de Santa Catarina.....	190
4.3.5 Considerações gerais	196
4.3.6 Considerações finais	213
4.4 ESTUDO 4: FPTs CONTÍNUAS E PARAMÉTRICAS PARA SOLOS	215
4.4.1 FPTs contínuas pontuais para solos de Santa Catarina.....	215
4.4.2 Funções de pedotransferência contínuas paramétricas	252
4.4.3 Funções de pedotransferência de classe	265
4.4.4 FPTs de classe e paramétricas geradas <i>versus</i> FPTs publicadas na literatura	272
4.4.5 Considerações finais.	275
5 CONCLUSÕES GERAIS.....	276
6 RECOMENDAÇÃO	278
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	279
ANEXOS	303
APÊNDICES	377

1 INTRODUÇÃO

A segurança alimentar é uma das atuais preocupações globais no século XXI (GREENLAND, GREGORY e NYE, 1997). As Nações Unidas estimam um aumento de 65 % da população mundial entre 1995 e 2050, com o taxa nos países em desenvolvimento. O aumento da produção de alimentos tem ocorrido tanto pelo aumento de rendimento das culturas, como aumento da área cultivada, o que ameaça de esgotamento os recursos naturais através da degradação dos solos e poluição do solo e da água quando mal manejados.

A construção de cenários com dados detalhados de biofísica, utilizando-os em modelos de simulação, podem favorecer o aumento da produção de alimentos e evitar a degradação dos recursos naturais. Modelos que avaliam o movimento de água no sistema solo- planta-atmosfera se tornaram uma importante ferramenta na agricultura e na gestão dos recursos hídricos. A simulação da dinâmica entre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo pode ser utilizada para prever o fluxo de água no solo para irrigação, o movimento de produtos fitossanitários, o monitoramento ambiental e a produtividade das culturas e, dessa forma, manejar agronomicamente o solo e as culturas. Algumas aplicações bem sucedidas desses modelos foram demonstradas por VERHAGEN (1997), VERHAGEN e BOUMA (1998); JAGTAP e JONES (2002) e GAISER, BARROS e FIRESENAI SEREKE (2010).

VERHAGEN (1997) utilizou modelos baseados na relação entre a água, o solo, o calor, o transporte de solutos e o crescimento de culturas para prever o efeito do manejo da adubação nitrogenada sobre a lixiviação de nitrato e rendimento de batata em uma área experimental com diferentes tipos de solos cultivados com trigo na Holanda. Por outro lado, VERHAGEN e BOUMA (1998) utilizaram esses mesmo modelos para prever o efeito do manejo da adubação nitrogenada sobre a lixiviação de nitrato quando a mesma área experimental foi cultivada com trigo. JAGTAP, JONES (2002) avaliaram a capacidade preditiva de um modelo de simulação (CROPGRO) para prever o rendimento e a produção de soja no estado americano da Geórgia. GAISER, BARROS e FIRESENAI SEREKE(2010) avaliaram a capacidade preditiva de um modelo de simulação (EPIC) para prever o rendimento de milho em pequenas propriedades de regiões tropicais subúmidas da África e semi-áridas no Brasil.

Os modelos de simulação de processos integrados têm sido amplamente desenvolvidos, como SSPA (Simulator de sistemas de produção agrícola) utilizado na Austrália (MCCOWN, HAMMER *et al.*, 1996), os quais integram processos biológicos, ambientais, de manejo e econômicos. Outros modelos atualmente utilizados na modelagem de manejo da água em sistemas agrícolas são: o SPAW (Soil-Plant-Air-Water), que foi criado com o objetivo de entender e prever a hidrologia agrícola e suas interações com o solo e a produção de culturas (SAXTON e WILLEY, 1999, 2004; e 2006); o HYDRUS (VOGEL *et al.*, 1996); o WAVE (VANCLOOSTER *et al.*, 1996); o SWAP (van DAM *et al.*, 1997); o Cropping System Model - CSM (JONES *et al.*, 2003); o Hydrological Simulation Program – FORTRAN (HSPF) (BICKNELL *et al.*, 2001) e o Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (ARNOLD *et al.*, 1998). Entretanto, o uso destes modelos é limitado, pois eles precisam de um grande número de características do solo como variáveis de entrada.

No Brasil, alguns modelos foram utilizados para desenvolver o zoneamento de risco agroclimático, o qual indica o período de semeadura/plantio das culturas em cada município brasileiro. O zoneamento foi criado com o intuito de reduzir o número de sinistros por perda de produtividade dos cultivos agrícolas segurados pelo PROAGRO (Programa de Garantia da Atividade Agropecuária), um seguro agrícola gerenciado pelo governo federal (ASSAD, 2004).

As variáveis de entrada essenciais que regem os modelos para estimar as relações solo-água são as propriedades hidráulicas do solo. As propriedades hidráulicas mais importantes nesses modelos são a retenção de água e a condutividade hidráulica. A curva de retenção de água (CRA) de um solo descreve a relação entre o potencial da água e o conteúdo volumétrico de água no solo, que é uma característica individual de cada tipo de solo. Ela pode ser usada para estimar o armazenamento de água, a capacidade de suprimento de água para as plantas (COLLIS-GEORGE e FIGUEROA, 1984), a condutividade hidráulica do solo (van GENUCHTEN, 1980; FREDLUND, XING e HUANG, 1994) e a qualidade física do solo (DEXTER, 2004).

A disponibilidade de água para as plantas costuma ser expressa pelo conteúdo de água entre dois limites de umidade do solo, denominado de conteúdo de água disponível (AD), o limite de umidade superior é denominado de capacidade campo (CC) e corresponde à umidade do solo retida em condições de campo por um perfil de solo não vegetado e coberto (sem efeito de evapotranspiração), após sua saturação com água e drenagem por alguns dias, ou seja, equivale a água retida em tensão maior do que a força da gravidade. O limite inferior de disponibilidade é denominado de ponto de murcha permanente (PMP) e corresponde a

umidade do solo quando as plantas cultivadas são levadas a uma condição de murcha da qual elas não podem mais se recuperar quando colocadas em uma atmosfera aproximadamente saturada com vapor de água, sem a adição de água no solo. Esses conceitos foram definidos por VEIHMEYER e HENDRIKSON (1927). Devido à dificuldade de determinação dessas duas propriedades do solo *in situ*, geralmente se utiliza a medição da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente em laboratório, utilizando a aplicação de determinadas sucções em amostras de solo (KLUTE, 1986; EMBRAPA, 1997).

Como as propriedades hidráulicas do solo variam acentuadamente no espaço (NIELSEN, BIGGAR e ERH, 1973; MORAES e LIBARDI, 1993; SOUZA *et al.*, 2004), para simulação das condições reais no campo é necessário utilizar um grande número de amostras. Entretanto, a mensuração das propriedades hidráulicas do solo no campo ou no laboratório é difícil, consome tempo e são caras. O custo efetivo de obtenção das propriedades hidráulicas pode ser reduzido usando métodos indiretos, através da predição das propriedades hidráulicas a partir de outras propriedades mais facilmente mensuráveis. WÖSTEN (1990); CHIRICO, MEDINA e ROMANO (2007) e POGGIO *et al.* (2010) concluíram que o uso de métodos indiretos é aceitável quando a incerteza das estimativas é calculada. Além disso, o uso de dados com erro igual a zero não é necessário porque muitos problemas não requerem a solução exata.

Os métodos indiretos para a estimativa das propriedades hidráulicas do solo são baseados na estimativa das propriedades hidráulicas de difícil medição através de equações onde são utilizadas outras propriedades que sejam de fácil medição, amplamente disponíveis, rotineiramente medidas e de baixo custo para determinação. Estas equações são atualmente denominadas de funções de pedotransferência (FPTs) (BOUMA, 1989).

Embora o termo “função de pedotransferência” tenha surgido somente no final da década de 1980 (BOUMA, 1989), o uso de funções para estimar os atributos hidráulicos do solo foram registrados desde 1912, quando BRIGGS e SHANTZ (1912) sugeriram uma função para estimar o coeficiente de murchamento em solos do EUA. Durante o século XX, vários estudos foram realizados em diferentes países para estimar as principais propriedades hidráulicas do solo, principalmente da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente, e do conteúdo de água disponível utilizando outros atributos do solo (STIRK 1957; BURROWS e KIRKHAM, 1958; GUPTA e LARSON; 1979; RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON, 1982; de JONG, CAMPBELL e NICHOLAICHUK, 1983; WILLIAMS, 1983; VEREECKEN *et al.*, 1989; ARRUDA, JÚLIO JR. e OLIVEIRA, 1987).

Após o surgimento desse conceito, houve um grande aumento do número de publicações com este tema, principalmente em solos de países desenvolvidos. Algumas revisões sobre o desenvolvimento e uso das FPTs foram publicadas por RAWLS, GISH e BRAKENSIEK (1991); van GENUCHTEN e LEIJ (1992); TIMLIN, AHUJA e WILLIAMS (1996); PACHEPSKY, RAWLS e TIMLIN (1999); WÖSTEN, PACHEPSKY e RAWLS (2001). O desenvolvimento dessas FPTs nos países desenvolvidos foi facilitado pela criação de grandes bancos de dados com informações de vários atributos que permitiram estabelecer relações entre esses atributos e as propriedades físicas do solo de difícil mensuração com aqueles de fácil mensuração. Alguns exemplos de banco de dados utilizados foram o NRCS (USDA, 1994), UNSODA (LEIJ *et al.*, 1996), WISE (BATJES, 1996), HYPRES (WÖSTEN *et al.*, 1999).

Nos países em desenvolvimento, principalmente naqueles de clima tropical, a geração de FPTs foi dificultada pela falta de bancos de dados, pois o estudo dos atributos físicos do solo ocorreu de forma pontual. Consequentemente, a geração de FPTs deu-se pelo agrupamento de informações de vários estudos realizados em determinados locais e/ou países (OLIVEIRA *et al.*, 2002; TOMASSELA e HODNETT, 1998; REICHERT *et al.*, 2009). Essa indisponibilidade ou escassez de informações sobre os atributos e propriedades físicas do solo impediu que solos de uma determinada região fossem utilizados para verificar a viabilidade de uso das FPTs publicadas na literatura, ou a sua participação no banco de dados para o desenvolvimento de novas FPTs.

Nesse contexto de falta de estudos dos atributos físicos do solo relacionados com a retenção e disponibilidade de água se encontram os solos do Estado de Santa Catarina. Até o momento, os estudos sobre esses atributos foram realizados de forma dispersa, pois tinham por objetivos avaliar o efeito de um determinado tipo de manejo ou uso de uma classe de solo e raramente avaliavam os horizontes subsuperficiais do solo (MERTZ *et al.*, 2004; ESPANHOL, 2005; LUNARDI NETO *et al.*, 2008; VEIGA *et al.*, 2008; COSTA *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2010; SANTANA *et al.*, 2010). Como no Estado de Santa Catarina ocorre um grande número de classes de solos (EMBRAPA, 2004), acredita-se que os atributos físicos, especialmente aqueles relacionados a retenção e disponibilidade de água, possam ter grande variação entre classes de solos.

Portanto, devido à relevância do assunto, quer seja naqueles onde é necessária a medição direta, mas principalmente naqueles que utilizam modelos de simulação, são necessários estudos sobre a retenção e disponibilidade de água nos solos de Santa Catarina

bem como a geração de funções de pedotransferência para estimar esses atributos a partir de outros atributos do solo.

1.1 HIPÓTESES

A retenção e disponibilidade de água possuem relação com as propriedades e/ou atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos de Santa Catarina.

A retenção e disponibilidade de água variam em função da litologia, macrorregião, classes texturais, classes taxonômicas e dos tipos de solos de Santa Catarina.

As funções de pedotransferência desenvolvidas a partir de dados de solos de regiões de clima temperado ou de regiões específicas do Brasil não estimam adequadamente a retenção e/ou disponibilidade de água para solos do Estado de Santa Catarina.

A retenção e a disponibilidade de água dos solos de Santa Catarina podem ser adequadamente estimadas por funções de pedotransferência pontuais, paramétricas e classificatórias desenvolvidas a partir de um banco de dados constituído apenas por solos do Estado de SC.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Gerar, testar e validar funções de pedotransferência para estimar a retenção de água em solos do Estado de Santa Catarina (SC).

1.2.2 Objetivos específicos

Determinar a retenção e a disponibilidade de água no solo para as plantas e relacioná-la com atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos de SC.

Avaliar o efeito da litologia, macrorregião, classes texturais, classes taxonômicas e dos tipos de solos dos solos de SC sobre a retenção e a disponibilidade de água no solo.

Validar o uso de funções de pedotransferência, geradas em outras regiões do Brasil ou outros países, quanto a sua capacidade preditiva para estimar a retenção e/ou disponibilidade de água nos solos de SC.

Gerar funções de pedotransferência para estimar a retenção e a disponibilidade de água e a curva de retenção de água a partir de atributos do solo de fácil obtenção para solos de SC.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA

A preocupação com a degradação do solo e agricultura sustentável levou ao desenvolvimento do conceito de qualidade do solo. A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade de um tipo específico de solo, dentro dos limites dos ecossistemas naturais ou manejados, em sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar, e no apoio à saúde humana e habitação (KARLEN *et al.*, 1997). A qualidade do solo pode servir como uma ligação central entre as práticas agrícolas e a sustentabilidade, através da função do solo como um meio de crescimento para a produção de alimentos, e ela é controlada pelas interações entre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Os modelos de simulação de processos são úteis na predição dos efeitos dos sistemas de manejo agrícolas sobre a qualidade do solo. A etapa mais difícil dos processos de modelagem é a coleta de dados, uma vez que as propriedades do solo podem ser altamente variáveis no espaço e no tempo e a medição dessas propriedades é demorada e cara (WÖSTEN *et al.*, 1999). Para aumentar a precisão da estimativa, se faz necessária uma grande quantidade de dados e medidas. No entanto, as propriedades do solo utilizadas como variáveis de entrada nesses modelos são afetadas por outras propriedades físicas, químicas e biológicas, possibilitando o desenvolvimento de relações empíricas para predizê-las (STIRK 1957; BURROWS e KIRKHAM, 1958; GUPTA e LARSON, 1979; RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON, 1982; de JONG, CAMPBELL e NICHOLAICHUK, 1983; WILLIAMS, 1983; VEREECKEN *et al.*, 1989; ARRUDA, JÚLIO JR. e OLIVEIRA, 1987).

Os dados, que geralmente se encontram disponíveis na literatura, provêm de levantamentos de solos, nos quais são geralmente avaliados apenas as propriedades mais básicas do solo, tais como a morfologia de campo, a textura, a estrutura e as propriedades químicas do solo. Por isso, quando se deseja estimar as propriedades

hidráulicas do solo em escala regional ou nacional, faz-se necessário derivar relações entre os atributos/propriedades básicas do solo com os atributos de difícil medição.

BOUMA (1989) definiu este conceito com o termo “função de pedotransferência” (FPT), que o autor descreveu como “traduzindo dados que nós temos em dados que nós precisamos”, ou “função preditiva de certas propriedades do solo, a partir de outras propriedades que são facilmente e rotineiramente medidas e de baixo custo”. As FPTs permitem estimar algumas propriedades do solo, consideradas trabalhosas e caras, a partir de informações básicas de levantamentos de solos ou de banco de dados em sistemas de informações geográficas (SIG).

A maioria das FPTs foi desenvolvida para prever as propriedades hidráulicas do solo, como a retenção de água e a condutividade hidráulica. Entretanto, as FPTs não são restritas às propriedades hidráulicas do solo, pois algumas FPTs também foram desenvolvidas para estimar as propriedades químicas, biológicas e mecânicas do solo (**Tabela 1.**).

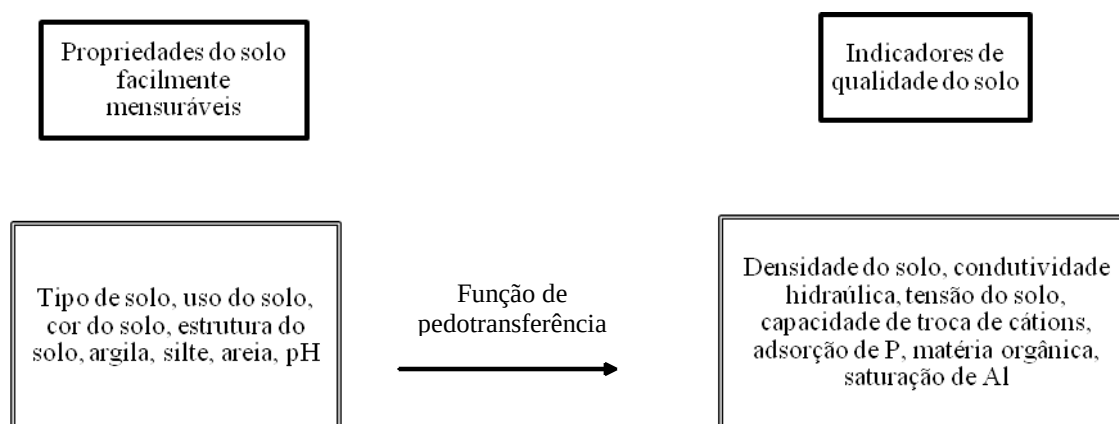
Existem dois tipos de abordagens na utilização das FPTs para estimativa dos indicadores de qualidade do solo (BUDIMAN *et al.*, 2003) (Figura 1). A primeira abordagem é estática, onde as FPTs são utilizadas para estimar os indicadores de qualidade do solo, enquanto que, a segunda abordagem é dinâmica, pois prediz as propriedades do solo que serão usadas na inserção de modelos de simulação de processos. Esses modelos predizem os efeitos de diferentes cenários do manejo agrícola sobre a qualidade do solo.

As FPTs podem ser divididas em dois tipos baseado na quantidade de informação disponível: FPTs de classes e FPTs contínuas (WÖSTEN, FINKE e JANSEN, 1995). As FPTs de classe predizem certas propriedades do solo baseadas na classe a qual o solo pertence. Por exemplo, a predição do conteúdo de água disponível baseado na classe textural do solo ou grupo de solo. As FPTs contínuas predizem certas propriedades do solo como uma função contínua das variáveis medidas, como por exemplo, a predição da capacidade de campo a partir da densidade do solo e do teor de argila.

Tabela 1. Alguns exemplos de funções de pedotransferência.

Atributos/propriedades do solo preditas	Atributos/propriedades preditoras	Autor/es
Propriedades Físicas		
Retenção de água, condutividade hidráulica	Distribuição do tamanho de partículas, densidade do solo	RAWLS, BRAKENSIEK e SONI, (1983)
Parâmetros da Equação de van GENUCHTEN	Teores de argila, silte, areia fina, areia grossa e teor de carbono orgânico.	TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)
Taxa de infiltração após certo período	Conteúdo inicial de água, déficit de umidade, porosidade total, porosidade não capilar, condutividade hidráulica	CANARACHE, MOTOC e DUMITRIU (1968)
Parâmetros de infiltração	Distribuição do tamanho de partículas, densidade de partículas, carbono orgânico, conteúdo inicial de água, conteúdo de raízes	van DE GENACHTE <i>et al.</i> (1996)
Densidade do solo	Distribuição do tamanho de partículas	RAWLS (1983)
Condutividade térmica do solo	Textura, matéria orgânica, conteúdo de água	DE VRIES (1966)
Fator de erodibilidade do solo	Tamanho médio geométrico de partículas	RÖMKENS, PRASAD e POESEN (1986)
Resistência mecânica do solo	Carbono orgânico, conteúdo de argila	da SILVA e KAY (1997)
Taxa de mudança estrutural	Matéria orgânica, argila e pH	RASIAH e KAY (1994)
Limite de contração, limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade	Matéria orgânica, conteúdo de argila, CTC	MBAGWU e ABEH (1998)
Grau de sobreconsolidação do solo	Densidade do solo, relação de vazios	MCBRIDE e JOOSSE (1996)
Propriedades Químicas		
Capacidade de troca de cátions (CTC)	Conteúdo de argila, matéria orgânica	BELL e van KEULEN (1995)
Adsorção de fósforo (P)	Conteúdo de argila, pH, cor do solo	SCHEINOST e SCHWERTMANN (1995)
Saturação de P	P e Al	KLEINMAN, BRYANT e REID (1999)
Nível crítico de P	Conteúdo de argila	COX (1994)
Coeficiente de adsorção de Cádmio	Argila, carbono orgânico e pH	SPRINGOB e BOTTCHE (1998)
Capacidade de tamponamento de pH	Matéria orgânica, argila	HELYAR, CREGAN e GODYN (1990)
Relação K/Ca trocável	Argila, K	SCHEINOST, SINOWSKI e AUERSWALD (1997a)
Parâmetros de mineralização de nitrogênio	CTC, N total, carbono orgânico, silte e argila	RASIAH (1995)
Saturação de Al	Saturação de bases, carbono orgânico e pH	JONES (1984)
Conteúdo de hematita	Cor do solo	TORRENT, SCHWERTMANN <i>et al.</i> (1983)
Matéria orgânica do solo	Cor do solo	TORRENT <i>et al.</i> (1983)

(a)



(b)

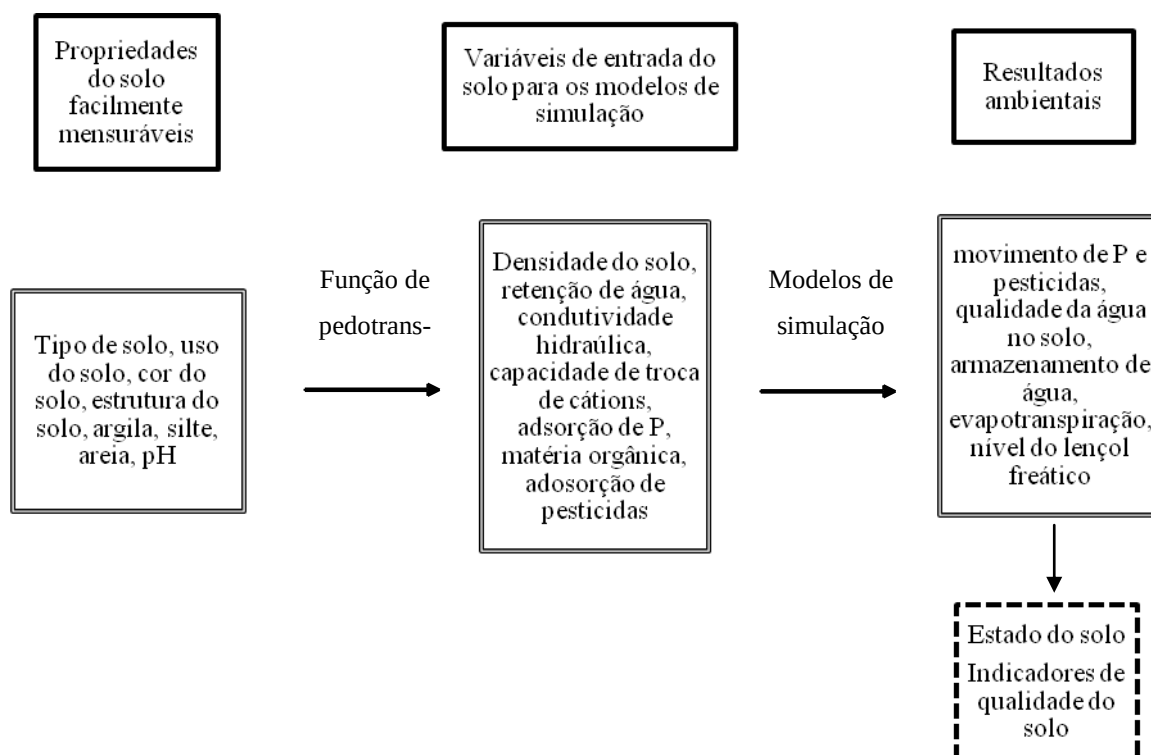


Figura 1. Enfoque estático (a) e dinâmico (b) utilizando funções de pedotransferência para prever a qualidade do solo (Adaptado de BUDIMAN *et al.*, 2003)

Um caso especial de FPTs classificatória é definido como pedotransferências regradas (BATJES, 1996 e 1997). As regras incluem várias condições “se-então” para estratificar os tipos de solos e as informações disponíveis, até chegar a uma predição. BATJES (1996) aplicou essas regras para estimar o conteúdo de água disponível para as classes de solo do mapa mundial, segundo a classificação da FAO. BATJES (1997) também estimou as propriedades físicas e químicas do solo para 106 unidades de solos

do mapa mundial de classes de solos da FAO-UNESCO. ASSIMAKOPOULOS *et al.* (1999) criaram uma “pedotransferência regrada” com o propósito de classificação de solos agrícolas na Grécia, dividindo-os em classes de aptidão para a aplicação de uréia.

A decisão de usar uma FPT não depende somente da quantidade de informações que estão disponíveis, mas também da quantidade de esforço necessário para fazer algumas medições da variável a ser estimada, para uma melhor estimativa dos resultados (BOUMA, 1989). Um exemplo de níveis crescentes de informações necessárias para predizer as propriedades hidráulicas é ilustrado na Figura 2. A maioria das informações básicas de um levantamento de solo são a morfologia e a textura no campo. Caso fossem utilizadas somente essas informações para predizer as propriedades hidráulicas do solo, a predição seria, muito incerta. As predições podem ser melhoradas aumentando as variáveis de entrada, acrescentando a distribuição do tamanho de partículas, densidade do solo, porosidade (RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON, 1982) e/ou o conteúdo de matéria orgânica (VERECKEN *et al.*, 1989). Melhorias adicionais seriam possíveis se fossem incluídos no modelo, um ou mais dados de retenção de água no solo (RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON, 1982; SCHAAP, LEIJ e van GENUCHTEN, 1998).

Com o aumento de medidas de laboratório, a predição se torna mais precisa, mas o custo de obtenção das informações adicionais se torna mais elevado. Existe, então, um balanço entre o custo e a qualidade da predição. As aproximações hierárquicas, onde as FPTs são baseadas no nível de informações disponíveis, foram introduzidas por SCHAAP, LEIJ e van GENUCHTEN (1998), para permitir maior flexibilidade no uso de dados disponíveis.

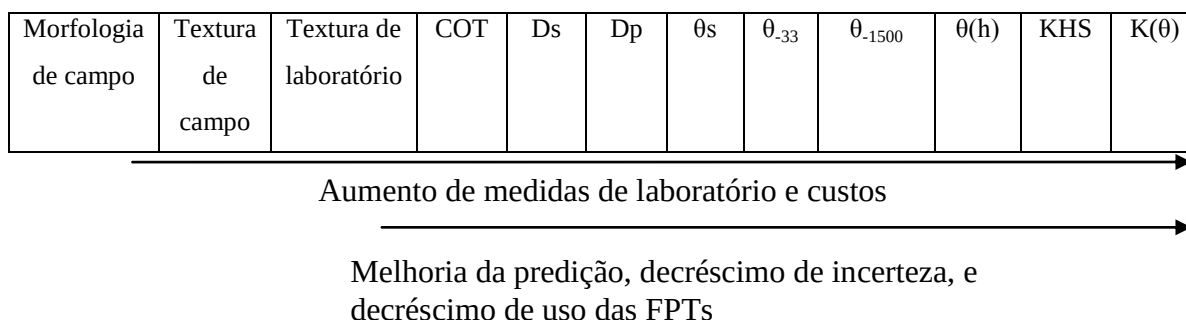


Figura 2. Nível de informação disponível para as FPTs hidráulicas

Os métodos de estimativa das propriedades do solo baseados no nível de conhecimento e complexidade do modelo também foram diferenciados por BOUMA e

HOOSBEEK (1996) . Os cinco níveis distinguem as abordagens nos modelos qualitativo e quantitativo sobre o eixo horizontal e empírico e mecanicista sobre o eixo vertical. Os níveis são: experiência do usuário (nível C1); conhecimento técnico (nível C2); modelo simples (nível C3); modelo completo e complexo (nível C4) e modelo detalhado e complexo (nível C5). Essa classificação na estimativa da capacidade de suprimento de água do solo para as plantas foi ilustrada por BOUMA e DROOGERS (1999). O nível C1 usa a experiência dos agricultores sobre as condições no campo. O nível C2 usa a estimativa do conteúdo de água disponível através de FPTs. O nível C3 usa simulações dinâmicas empíricas simples como um modelo “tipping bucket” (BURNS, 1974). O nível C4 usa um modelo mecanicista complexo, o qual utiliza a Equação de Richards, em conjunto com um modelo de curva de crescimento. O nível C5 é uma extensão de C4, com sub-modelos detalhados, o qual leva em consideração a ocorrência de macroporos e acessibilidade da água pelas raízes das plantas. Os autores concluíram que o nível C2 poderia indicar a capacidade relativa de suprimento de água no solo, mas não poderia mensurar a capacidade de suprimento de água do solo para as plantas. O nível C3 não daria um valor real por causa da simplificação do sistema solo-planta. O nível C4, que assume um solo homogêneo e isotrópico, superestimaria o conteúdo de água no solo. As estimativas reais poderiam ser obtidas através do nível C5. Eles ainda concluem que, alguns processos, como um fluxo “by-pass”, captação interna e acessibilidade à água para as raízes, são mais importantes que as propriedades hidráulicas.

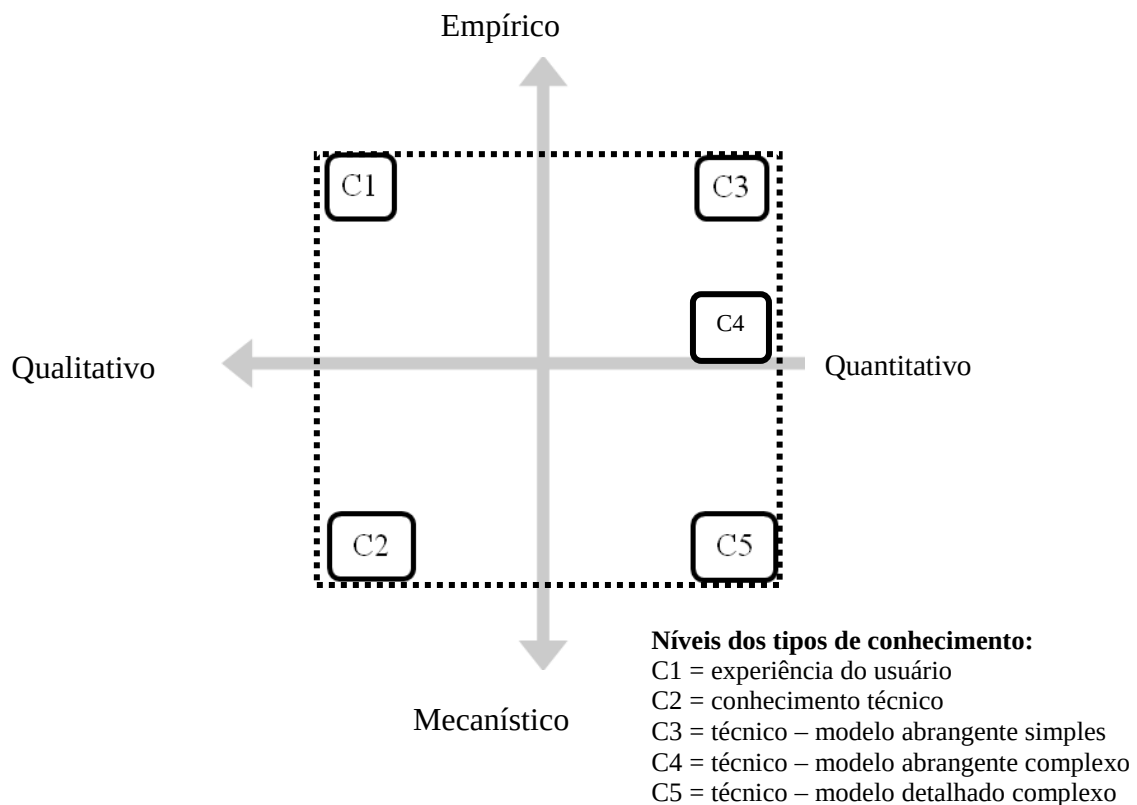


Figura 3. Níveis de conhecimento para prever as propriedades do solo (BOUMA e DROOGERS, 1999).

Uma nova FPT é estabelecida utilizando os atributos/propriedades básicos e específicos de vários solos. Usando esses dados na forma de um banco de dados são testadas algumas relações estatísticas entre os atributos/propriedades básicos e específicos do solo. Uma vez que uma FPT é formulada, um mapa de levantamento de solos pode ser utilizado para extrapolação das propriedades específicas destes.

O desenvolvimento de novas FPTs é uma tarefa árdua, pois requer um grande banco de dados de solos, com muitas medidas dos atributos/propriedades do solo. Em um primeiro momento é sensato utilizar as funções que já tenham sido desenvolvidas, mas a validade de uma dada FPT não deve ser interpolada ou extrapolada além do material de origem ou do tipo de solo para o qual elas foram desenvolvidas. Para a seleção das FPTs mais adequadas dentre as já existentes devem ser realizados testes. A estratificação e calibração das FPTs também são essenciais. A estratificação é necessária para estabelecer separações das FPTs baseadas no tipo de solo e nas informações de entrada nos modelos. As estratificações têm sido feitas de acordo com:

os horizontes do solo (HALL *et al.*, 1977; LAMP e KNEIB, 1981); horizontes genéticos (PACHEPSKY, MIRONENKO e SCHERBAKOV, 1992); horizontes hidráulico-funcionais (WÖSTEN *et al.*, 1986); classificação numérica do solo (WILLIAMS, 1983); classes de solo da FAO (BATJES, 1996); classes de textura do solo (TIETJE e HENNINGS, 1996); material de origem e morfologia dos horizontes/lito-morfologia (FRANZMEIER, 1991); unidades de manejo (DROOGERS e BOUMA, 1997); grande grupo de solos, regime de temperatura, regime de umidade (PACHEPSKY e RAWLS, 1999); e condições climáticas (HODNETT e TOMASELLA, 2002).

A calibração é necessária para ajustar atributos/propriedades medidas e disponíveis com aquelas exigidas como variáveis preditoras, por causa das diferenças nos critérios e medidas das FPTs existentes. Por exemplo, as frações da areia são diferentes de acordo com a Classificação Brasileira (diâmetro de partícula entre 53-2.000 μm) (EMBRAPA, 1997) e o critério da FAO/USDA (diâmetro de partícula entre 50-2.000 μm). Outras calibrações são listadas na Tabela 2.

Tabela 2. Algumas calibrações de técnicas de medição.

Propriedade medida	Propriedade estimada	Autor/es
Fração silte ISSS (2-20 μm)	Fração Silte FAO/USDA (2-50 μm)	MINASNY, MCBRATNEY e BRISTOW (1999)
Densidade do solo seco em estufa	Densidade do solo na capacidade de campo (-33 kPa)	KERN (1995)
Carbono orgânico (método de Walkley e Black)	Carbono total (Combustão seca, Leco)	MERRY e SPOUNCER, (1988)
pH em água	pH em CaCl_2	LITTLE (1992)

O uso de FPTs não está limitado na predição das propriedades do solo. As FPTs também podem ser utilizadas: na avaliação das mudanças na porosidade do solo causadas por diferentes tipos de cultivo (RAWLS, 1983); no efeito do encrostamento sobre os parâmetros de infiltração (BRAKENSIEK e RAWLS, 1983); e na sensibilidade da estrutura devido às mudanças no conteúdo de carbono orgânico (KAY, DA SILVA e BALDOCK, 1997). Mais aplicações incluem: avaliações regionais do fluxo de água e lixiviação de pesticidas (PETACH, WAGENET e DEGLORIA, 1991); predição da lixiviação de pesticidas em águas subterrâneas de uma bacia hidrográfica (DE JONG e REYNOLDS, 1994); desenvolvimento de mapas regionais de vulnerabilidade das águas subterrâneas que indiquem o impacto das lixiviações (SOUTTER e PANNATIER, 1996); avaliação da magnitude de acumulação de cádmio em escala regional (TIKTAK, LEIJNSE e VISSENBERG, 1999); estimativa do rendimento de soja (TIMLIN, AHUJA e WILLIAMS, 1996); estimativa do rendimento regional de cultivos (HASKETT,

PACHEPSKY e ACOCK, 1995); e avaliação do rendimento de cultivos e lixiviação de nitratos devido a diferentes práticas de manejo (DROOGERS e BOUMA, 1997).

2.2 HISTÓRICO DAS FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA RELACIONADAS À HIDROLOGIA DO SOLO

O conceito de função de pedotransferência não era formalmente designado até 1989, mas a utilização de funções para estimar propriedades do solo já era realizada muito antes do surgimento do conceito de FPT. A maioria das pesquisas que desenvolvem novas FPTs é realizada para estimativa da retenção de água no solo, e esse enfoque deve-se provavelmente as dificuldades e ao alto custo dessa determinação. A primeira tentativa de usar essas predições foi realizada no estudo de BRIGGS e MCLANE (1907), mais tarde aprimorado por BRIGGS e SHANTZ (1912). Eles determinaram o coeficiente de murchamento como uma função do tamanho de partículas (**Figura 4**). O coeficiente de murchamento foi definido como o conteúdo de água de um solo (em percentagem) quando as plantas que crescem nesse solo são primeiramente levadas a uma condição de murcha, na qual elas não podem mais se recuperar quando colocadas em uma atmosfera aproximadamente saturada com vapor de água, sem a adição de água no solo:

$$\text{Coeficiente de murchamento} = \frac{0,01 \text{ areia} + 0,12 \text{ silte} + 0,57 \text{ argila}}{1 \pm 0,025}$$

Nesse estudo, a fração areia foi definida como partículas com diâmetro entre 20-2000 μm , a fração silte com diâmetro entre 5-20 μm e a fração argila com diâmetro menor que 5 μm . O termo $\pm 0,025$ é a probabilidade de erro da equação.

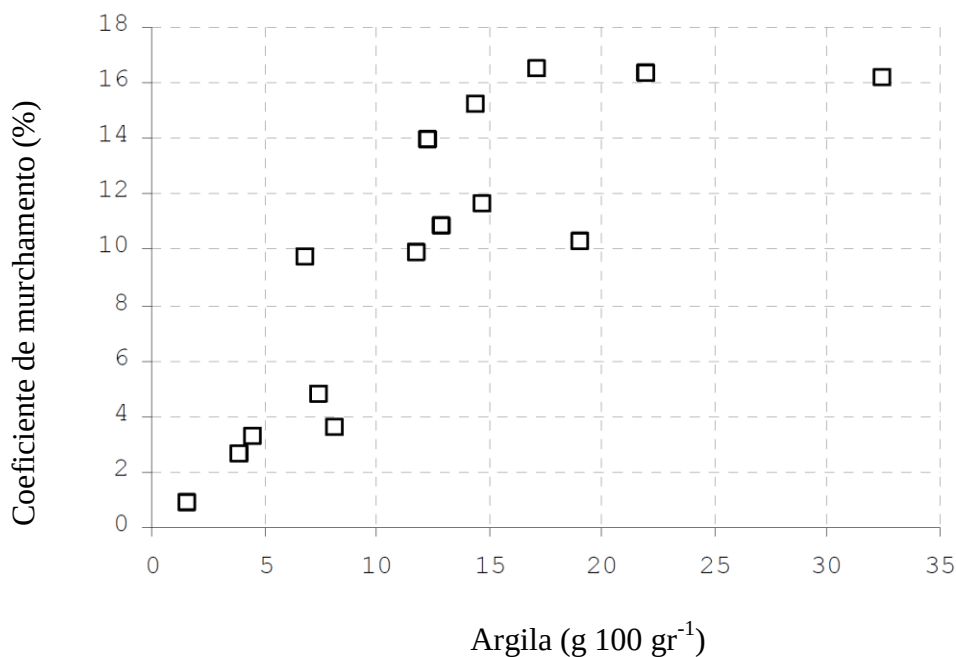


Figura 4. Coeficiente de murchamento em função da argila (dados de BRIGGS e SHANTZ, 1912).

Com a introdução dos conceitos de capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMP) por VEIHMEYER e HENDRIKSON (1927), as pesquisas no período de 1950-1980 tentaram correlacionar a distribuição do tamanho de partículas, a densidade do solo e o teor de matéria orgânica com o conteúdo de água na CC (sucção de 33 kPa), PMP (sucção de 1.500 kPa) e conteúdo de água disponível (AD). Em um estudo realizado em North Queensland, STIRK (1957) sugeriu uma estimativa do conteúdo de água na sucção de 1.500 kPa para solos com conteúdo de argila menor do 60 g 100 g⁻¹ de solo, igual a:

$$PMP = 2 / 5 \text{ argila}$$

A capacidade de campo foi estimada como uma função da fração argila e da densidade do solo (D_s , Mg m⁻³) para quatro tipos de solo por BURROWS e KIRKHAM (1958), que obtiveram a seguinte equação:

$$CC = 6,69 + 0,637 \text{ argila} + 1,67 D_s$$

Em outro estudo, NIELSEN e SHAW (1958) obtiveram uma relação parabólica entre o conteúdo de argila e o ponto de murcha permanente em 730 solos do Estado Americano de Iowa.

Na década de 1960, vários trabalhos de pesquisa enfocaram a estimativa da CC, PMP e AD (SALTER e WILLIAMS, 1965a, 1965b, 1967 e 1969; SALTER, BERRY e WILLIAMS, 1966). Eles enfocaram as relações entre as classes texturais e o conteúdo

de água disponível, as quais são atualmente conhecidas como FPTs classificatórias. Os autores afirmaram que essas funções poderiam prever a AD com uma acurácia média de 16 %.

Na década de 1970 foram realizadas pesquisas mais abrangentes usando grandes bancos de dados. Em um estudo desenvolvido por HALL *et al.* (1977), utilizando solos da Inglaterra e País de Gales, os autores estabeleceram a capacidade de campo, ponto de murcha permanente, conteúdo de água disponível e a capacidade de aeração como uma função das classes texturais do solo e, também, derivaram funções contínuas para estimar essas propriedades do solo. Nos EUA, GUPTA e LARSON (1979) desenvolveram 12 funções relacionando a distribuição do tamanho de partículas e a matéria orgânica com a umidade do solo nas sucções entre 4 até 1.500 kPa.

Com o surgimento de novos modelos hidráulicos (van GENUCHTEN, 1980) e modelagem computacional da relação solo-água e transporte de solutos (DE WIT e van KEULEN, 1975), a necessidade das propriedades hidráulicas como variáveis de entrada nestes modelos se tornou mais evidente. CLAPP e HORNBERGER (1978) obtiveram valores médios dos parâmetros de uma função de potência para a curva de retenção de água, sortividade e K_s para diferentes classes texturais.

Provavelmente, a primeira pesquisa deste tipo foi realizada por BLOEMEN (1980), o qual derivou uma relação entre os parâmetros de modelos hidráulicos com a distribuição do tamanho de partículas. Ele derivou os parâmetros da equação de Brooks e Corey (h_b , λ , e K_s) :

$$h_b = 2914 f^{0,79} M_d^{-0,96} (cm)$$

$$\lambda = 1,512 (e^{0,3f} - 1)$$

$$K_s = 0,2 M_d^{1,93} f^{0,74} (mm/dia)$$

Onde: f é o índice de distribuição do tamanho de partículas e M_d é o tamanho médio de grãos (mm).

O termo “pedofunção” foi introduzido formalmente por LAMP e KNEIB (1981), enquanto que, BOUMA e van LANEN (1986) usaram o termo “função de transferência”. Para evitar confusão com a terminologia “função de transferência” usada na física do solo e em muitas outras disciplinas com outros significados,

BOUMA (1989) denominou posteriormente essas equações como “funções de pedotransferência”.

Desde então, o desenvolvimento de FPTs hidráulicas teve uma explosão de desenvolvimento na maior parte dos EUA e Europa e, posteriormente, nos demais continentes. Os primeiros resultados dessas pesquisas foram relatados nos EUA (RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON, 1982), Reino Unido (MAYR e JARVIS, 1999), Canadá (DE JONG, CAMPBELL e NICHOLAICHUK, 1983), Holanda (WÖSTEN, FINKE e JANSEN, 1995), Bélgica (VERECKEN *et al.*, 1989), Alemanha (SCHEINOST, SINOWSKI e AUERSWALD, 1997b), Portugal (GONCALVES, PEREIRA e LEIJ, 1997), Suíça (RAJKAI *et al.*, 1996), Austrália (WILLIAMS, 1983) e Brasil (ARRUDA, JÚLIO JR. e OLIVEIRA, 1987).

2.3 FPTs PARA A CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA

As propriedades hidráulicas do solo são as propriedades físicas que descrevem a relação solo-água. Entre elas, as mais importantes são a curva de retenção de água $\theta(h)$ e de condutividade hidráulica do solo $K(h)$. O principal uso dessas propriedades é a estimativa da disponibilidade de água para as plantas. O desenvolvimento de modelos computacionais do transporte de água e solutos no solo tem avançando rapidamente e à medida que aumentou a velocidade dos computadores, a complexidade desses modelos também tem aumentado. Com este avanço, a necessidade da $\theta(h)$ e $K(h)$ e suas relações como variáveis de entrada nos modelos se tornou mais evidente. Contudo, a medição direta dessas propriedades consome tempo e são caras (KLUTE, 1986; DIRKSEN, 1991). Como as propriedades hidráulicas são afetadas por outras propriedades físicas do solo (**Tabela 3**), torna-se possível o desenvolvimento de relações empíricas (FPTs) para predizê-las.

Tabela 3. Propriedades do solo que afetam a retenção de água no solo (adaptado de RAWLS, GISH e BRAKENSIEK, 1991)

Propriedades do tamanho de partículas	Propriedades hidráulicas (sucção)	Atributos/ propriedades morfológicas	Atributos/ propriedades químicas
Areia	Retenção de água a 10 kPa	Densidade do solo	Carbono orgânico / matéria orgânica
Silte	Retenção de água a 33 kPa	Porosidade	CTC
Argila	Retenção de água a 1.500 kPa	Horizonte	Adsorção de Na
Areia fina		Estrutura	Relação CaCO_3 , Fe, Al
Areia muito grossa		Textura no campo	
Areia grossa		Cor	
Fragmentos grosseiros		Tipo de argila	
Distribuição do tamanho de partículas		Consistência	
Tamanho médio de partículas		Pedologia	
Média geométrica do tamanho de partículas			
Desvio padrão do tamanho médio de partículas			
Estabilidade dos agregados em água			
Área superficial			

As propriedades hidráulicas preditas podem ser usadas para avaliar os efeitos dos manejos agrícolas sobre a produção das culturas. Isso foi realizado por SMETTEM *et al.* (1999), que utilizaram as propriedades hidráulicas estimadas através de FPTs em modelos mecanicistas para modelagem espacial do balanço de água para prever o rendimento de trigo.

As FPTs para prever a retenção de água podem ser divididas em três tipos: (1) pontuais; (2) paramétricas e (3) modelos físico-empíricos. As FPTs de estimativas pontuais são funções empíricas que predizem a retenção de água em potenciais pré-definidos. As mais frequentes são as estimativas de umidade nas sucções de 10 ou 33 kPa (correspondente a capacidade de campo) e 1.500 kPa (correspondente ao ponto de murcha permanente), os quais são comumente medidos para prever o conteúdo de água disponível.

Nas FPTs paramétricas, assume-se que as relações da $\theta(h)$ e da $K(h)$ podem ser adequadamente descritas por modelos hidráulicos, que são equações com formas pré-definidas com certo número de parâmetros, como por exemplo, aquelas propostas por

BROOKS e COREY (1964), CAMPBELL (1985) ou van GENUCHTEN (1980) (**Tabela 4**).

Os valores dos parâmetros médios da equação de BROOKS e COREY (1964) para solos dos EUA foram determinados RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON (1982) e posteriormente RAWLS e BRAKENSIEK (1985) derivaram os parâmetros em função da argila, areia e porosidade. SCHAAP, LEIJ e van GENUCHTEN (1998) derivaram os parâmetros médios para a equação de van GENUCHTEN para cada uma das classes texturais do solos americanos (**Tabela 5**) e também para a condutividade hidráulica do solo (**Tabela 6**). TOMASSELLA, HODNETT e ROSSATO (2000) também derivaram os parâmetros para a equação de van GENUCHTEN para solos do Brasil.

Uma aproximação paramétrica é geralmente mais adequada, pois resulta em uma função contínua da relação $\theta(h)$. A retenção de água para qualquer sucção pode ser estimada e também assegura que a umidade predita para uma baixa sucção será maior que aquelas preditas em altas sucções. Os parâmetros estimados podem ser usados para prever a condutividade hidráulica do solo usando os modelos da curva de retenção de água (MUALEM, 1976). Os modelos de transporte de água no solo geralmente utilizam somente os parâmetros das funções hidráulicas. Assim, os parâmetros preditos podem ser usados diretamente nesses modelos.

Tabela 4. Modelos publicados na literatura para propriedades hidráulicas do solo.

Modelo	Funções	Parâmetros
BROOKS e COREY (1964)	$\theta(h) = \begin{cases} \theta_s & \text{Se } h \geq h_b \\ \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{h_b}{h}\right)^\lambda & \text{Se } h < h_b \end{cases}$ $K(S_e) = \begin{cases} K_s & \text{Se } h < h_b \\ K_s + S_e^{\frac{2}{\lambda}+3} & \text{Se } h < h_b \end{cases}$	θ_r = umidade residual θ_s = umidade solo saturado h_b = potencial de entrada de ar λ = índice de tamanho de poros $S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$
CAMPBELL (1974)	$\theta(h) = \begin{cases} \theta_s & \text{Se } h \geq h_b \\ \left(\frac{h_b}{h}\right)^{1/b} & \text{Se } h < h_b \end{cases}$ $K(\theta) = \begin{cases} K_s & \text{Se } h \geq h_b \\ K_s + \left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^{2b+3} & \text{Se } h < h_b \end{cases}$	b = coeficiente fractal
van GENUCHTEN (1980)	$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha h)^n)^m}$ $K(S_e) = K_s S_e^l \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m\right]^2$	α = parâmetro de escala n = parâmetro de forma da curva $m = 1 - 1/n$ l = parâmetro empírico que descreve a tortuosidade do solo (usualmente = 0,5)

Tabela 5. Parâmetros médios da curva de retenção de água para a equação de van GENUCHTEN (θ_r , θ_s , α e n), de acordo com as classes texturais propostas pela USDA (USDA, 1975) obtidos por SCHAAP, LEIJ e van GENUCHTEN (1998).

Classe Textural	N. ⁽¹⁾	θ_r (m ³ m ⁻³)		θ_s (m ³ m ⁻³)		α (m ⁻¹)		n	
		μ ⁽²⁾	σ ⁽³⁾	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Argila	84	0,10	0,11	0,46	0,08	2,55	0,19	1,26	0,041
Franco Argilosa	140	0,08	0,08	0,44	0,08	2,74	0,22	1,44	0,018
Franca	242	0,06	0,07	0,40	0,10	2,05	0,14	1,50	0,013
Areia Franca	201	0,05	0,04	0,39	0,07	4,48	0,33	1,80	0,002
Arenosa	308	0,05	0,03	0,38	0,06	3,79	0,17	3,30	0,000
Argilo Arenosa	11	0,12	0,11	0,39	0,05	4,86	0,5	1,21	0,050
Franco Argilo Arenosa	87	0,06	0,08	0,38	0,06	3,77	0,45	1,35	0,028
Franco Arenosa	476	0,04	0,05	0,39	0,09	3,83	0,3	1,47	0,015
Silte	6	0,05	0,04	0,49	0,08	0,73	0,01	1,71	0,004
Argilo Siltosa	28	0,11	0,12	0,48	0,08	2,60	0,17	1,34	0,030
Franco Argilo Siltosa	172	0,09	0,08	0,48	0,09	1,25	0,03	1,55	0,010
Franco Siltosa	330	0,07	0,07	0,44	0,09	0,74	0,01	1,70	0,004

⁽¹⁾ N = número de amostras. ⁽²⁾ μ = média. ⁽³⁾ σ = desvio padrão.

Tabela 6. Parâmetros médios para condutividade hidráulica do solo para a equação de van GENUCHTEN (K_s , l) utilizando o critério de Mualem, de acordo com as classes texturais proposta pelo USDA (USDA, 1975) obtidos por SCHAAP, LEIJ e van GENUCHTEN (1998).

Classe Textural	K_s (mm h ⁻¹) ⁽¹⁾		l	
	μ ⁽²⁾	σ ⁽³⁾	μ	σ
Argila	1,24	0,76	-1,56	1,39
Franco Argilosa	2,08	0,71	-0,76	0,90
Franca	1,54	0,68	-0,37	0,84
Areia Franca	10,13	0,72	-0,87	0,59
Arenosa	10,20	0,72	-0,93	0,49
Argilo Arenosa	1,81	0,91	-3,67	1,80
Franco Argilo Arenosa	2,89	0,72	-1,28	0,99
Franco Arenosa	6,45	0,68	-0,86	0,73
Silte	1,39	0,87	0,62	1,57
Argilo Siltosa	1,32	0,78	-1,29	1,23
Franco Argilo Siltosa	0,93	0,76	-0,16	1,23
Franco Siltosa	0,73	0,76	0,37	1,42

⁽¹⁾ K_s = condutividade hidráulica para o Modelo de Van GENUCHTEN (1980) ⁽²⁾ μ = média. ⁽³⁾

σ = desvio padrão.

Nas aproximações físico-empíricas, as propriedades hidráulicas são derivadas dos atributos físicos (**Figura 5**). Na modelagem da curva de retenção de água, ARYA e PARIS (1981) transformaram a distribuição do tamanho de partículas na curva de retenção de água através da conversão da fração da massa de sólidos em conteúdo de água e a distribuição do tamanho de poros em potencial hidráulico, por meio da equação de capilaridade. O principal entrave é a necessidade de predição dos parâmetros que caracterizam o empacotamento das partículas de solo. TYLER e WHEATCRAFT (1989) propuseram um parâmetro de empacotamento (escalar) como uma dimensão fractal. ARYA *et al.* (1999) melhoraram o modelo incorporando a dependência da textura sobre o parâmetro de escala. Além disso, o modelo foi estendido para predizer a relação $K(\theta)$ via lei de Hagen-Poiseuille (ARYA *et al.*, 1999). Outros modelos físico-empíricos incluem a predição da curva de retenção de água através de modelos fractais da estrutura do solo (ANDERSON e MCBRATNEY, 1995; BIRD, PERRIER e RIEU, 2000; FAZELI *et al.*, 2010).

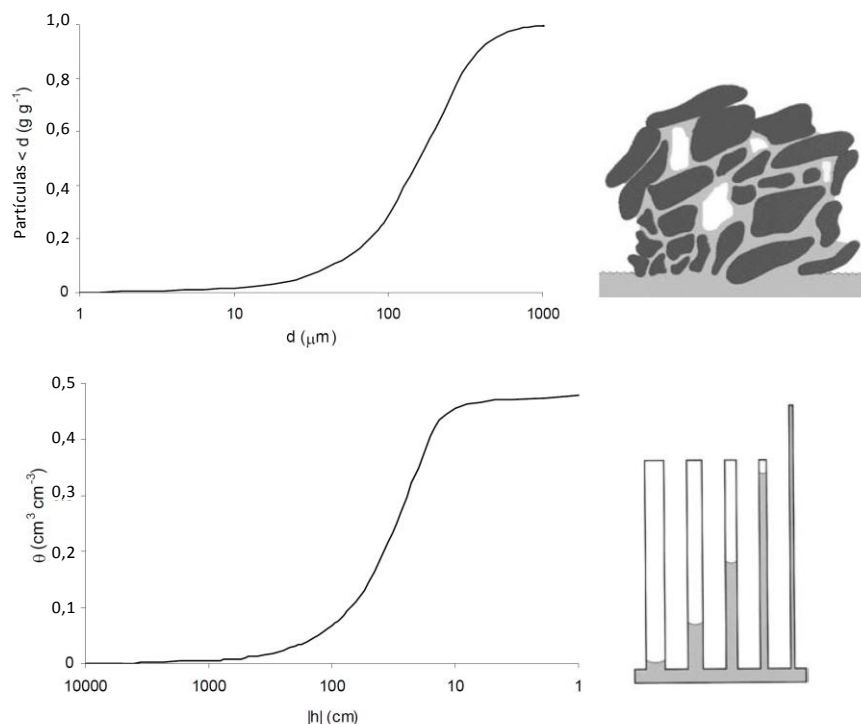


Figura 5. Modelo físico-empírico que transforma a distribuição de partículas na curva de retenção de água.

Com grande número de FPTs já publicadas, alguns cuidados devem ser levados em consideração ao usá-las para predição da retenção de água. BASTET *et al.* (1999) fizeram as seguintes recomendações:

- 1) o desempenho das FPTs já publicadas é altamente variável quando são aplicadas em outros solos, desde aceitáveis até extremamente ruins;
- 2) o desempenho varia de acordo com o material de origem do solo sobre o qual as FPTs são testadas, consequentemente a validade de uma determinada FPT não deve ser considerada como geral;
- 3) a diferença de desempenho não está relacionada ao número ou ao tipo de variáveis usadas como preditoras;
- 4) o desempenho das FPTs é melhor para a retenção de água em elevados potenciais matriciais, a qual é grandemente influenciada pelo efeito textura do solo sobre a distribuição da microporosidade do solo.

2.4 FPTs PARA ESTIMATIVA DA RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM SOLOS DO BRASIL

No Brasil, o artigo publicado por ARRUDA, JÚLIO JR. e OLIVEIRA (1987) foi um dos primeiros trabalhos sobre ajuste de FPTs. Nesse trabalho, foram propostas FPTs para estimativa da CC e do PMP utilizando um banco de dados composto por 218 amostras com estrutura alterada de vários locais do Estado de São Paulo. O segundo artigo sobre FPTs foi de autoria de SILVA, BRITO e OLIVEIRA, (1990), os quais propuseram FPTs para solos da região semi-árida do Nordeste.

Posteriormente, van den BERG *et al.* (1997) sugeriram FPTs pontuais para estimar a umidade volumétrica do solo nas sucções de 10 e 1.500 kPa e para o conteúdo de água disponível entre essas sucções. Também sugeriram FPTs paramétricas para estimar os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980), utilizando amostras de Ferralsols e Oxisols de regiões tropicais, incluindo o Brasil.

Em outro estudo, TOMASELLA e HODNETT (1998) propuseram FPTs para estimar os parâmetros da Equação de BROOKS e COREY (1964) em solos da região Amazônica Brasileira. Em 2000, TOMASELLA, HODNETT e ROSSATO (2000) sugeriram FPTs para estimar os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980), utilizando uma base de dados de amostras de diferentes Estados Brasileiros, com maior concentração de dados das Regiões Sudeste e Norte. No mesmo ano, GAISER, GRAEF e CORDEIRO (2000) desenvolveram FPTs para estimar a CC e PMP utilizando um banco de dados com amostras de solo com estrutura alterada desenvolvidos sob clima tropical semi-árido das regiões Nordeste do Brasil (Ceará e Piauí) e Sul da Nigéria.

Em 2002, OLIVEIRA *et al.* (2002) desenvolveram FPTs para estimar a CC, PMP e AD para solos do Estado de Pernambuco. Também, GIAROLA, SILVA e IMHOFF (2002) propuseram FPTs para estimar alguns atributos físicos do solo, utilizando amostras de 18 perfis de solo dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Em 2003, TOMASELLA *et al.* (2003) desenvolveram FPTs de estimativas pontuais e paramétricas utilizando o mesmo banco de dados do ano de 2.000 (TOMASELLA, HODNETT e ROSSATO, 2000), ao qual foram adicionadas outras amostras de outros Estados brasileiros. No entanto, o banco de dados ainda permaneceu

com predomínio de amostras do Sudeste e Norte do Brasil. Também nesse ano, PERAZA (2003) estabeleceu FPTs a partir de amostras com estrutura alterada, utilizando um banco de dados com 34 unidades de mapeamento de solos do Estado do Rio Grande do Sul.

Novas FPTs para retenção de água foram propostas por URACH (2007), que utilizou um banco de dados do Sistema Irriga e também de trabalhos anteriormente publicados, ambos realizados com solos do Estado do Rio Grande do Sul. Posteriormente, REICHERT *et al.* (2009) ampliaram o banco de dados utilizado por URACH (2007), e propuseram novas FPTs para retenção e disponibilidade de água para solos do Estado do Rio Grande do Sul.

Algumas FPTs para estimar a curva de retenção de água do solo e a curva de resistência do solo à penetração foram propostas por SILVA *et al.*, (2008) que utilizaram amostras de solo coletadas em lavouras de cana de açúcar em cinco segmentos de um toposequência constituída por Latossolos Vermelhos com ampla variação textural.

Recentemente, MICHELON *et al.* (2010) desenvolveram FPTs para estimar a retenção de água em solos do Estado do Rio Grande do Sul utilizando um banco de dados composto por amostras coletadas na camada superficial de solos irrigados por aspersão, nas regiões do planalto, missões e fronteira oeste desse Estado. Nesse mesmo ano, NASCIMENTO *et al.* (2010) propuseram FPTs para estimar a retenção e disponibilidade de água para Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos, utilizando amostras de horizontes desses dois solos desenvolvidos de sedimentos da Formação Barreiras e similares, em ambiente de Tabuleiros de diferentes localidades do Brasil.

Especificamente para solos do Estado de Santa Catarina, ainda não foi proposta nenhuma função de pedotransferência para estimar a retenção e disponibilidade de água. Dentre as FPTs da literatura que utilizaram amostras de perfis de solo de SC, constam apenas nos trabalhos de GIAROLA, SILVA e IMHOFF (2002), os quais avaliaram apenas cinco perfis de solos localizados nesse Estado e 13 perfis do Estado do Rio Grande do Sul. Posteriormente, URACH (2007) e REICHERT *et al.* (2009) utilizaram os dados destes cinco solos incluídos em um grande banco de dados, constituído predominantemente de solos localizados no Rio Grande do Sul.

Para os solos de Santa Catarina, a disponibilidade de dados provenientes de trabalhos de pesquisa que avaliaram retenção e disponibilidade de água para as plantas ainda é escassa. Em pesquisa bibliográfica foram encontradas apenas publicações

recentes e para poucas classes de solos com esse tipo de informação (BALDISSERA *et al.*, 1997; MERTZ *et al.*, 2004; ESPANHOL, 2005; LUNARDI NETO *et al.*, 2008; VEIGA *et al.*, 2008; COSTA *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2010; SANTANA *et al.*, 2010). Estes estudos objetivaram avaliar o efeito do uso ou manejo de classes de solos específicas, onde a retenção e disponibilidade de água foi avaliada principalmente para as camadas superficiais do solo. Essa baixa disponibilidade de dados impossibilita a geração de FPTs confiáveis se somente os dados de pesquisas já publicadas forem utilizados. Consequentemente, faz-se necessária a avaliação de novos perfis de solo para a geração de FPTs que estimam a retenção e/ou disponibilidade de água.

2.5 MÉTODOS PARA ESTIMAR A RETENÇÃO DE ÁGUA UTILIZANDO FPTs

2.5.1 Regressão linear múltipla

Diferentes métodos podem ser utilizados para derivar as relações empíricas nas FPTs. O método mais comumente usado nas FPTs de estimativas pontuais são as regressões lineares múltiplas, como no exemplo:

$$\theta_p = c_1 \text{ areia} + c_2 \text{ silte} + c_3 \text{ argila} + c_4 \text{ matéria orgânica} + c_5 \text{ densidade do solo}$$

Onde: θ_p é o conteúdo de água ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) para a sucção p e c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 são os coeficientes de regressão (GUPTA e LARSON, 1979).

As regressões lineares múltiplas são também usadas nas FPTs paramétricas. Os parâmetros dos modelos hidráulicos são primeiramente estimados pelo ajustamento dos dados aos modelos de retenção de água, para então serem elaboradas as relações empíricas entre as propriedades básicas do solo e os parâmetros.

Assumindo um modelo de função do tipo potencial para a curva de retenção de água no solo, WILLIAMS, ROSS e BRISTOW (1992) desenvolveram FPTs através da textura, classes de estrutura (maciço ou estruturado) e matéria orgânica. As variáveis preditas foram inseridas em um modelo de retenção de água e os parâmetros foram estimados usando regressões lineares múltiplas:

$$\ln \theta(h) = [a_0 + a_1 v_1 + a_2 v_2 + \dots] + [c_0 + c_1 v_1 + c_2 v_2 + \dots] \ln(h)$$

Onde: a e c são os parâmetros e v são as variáveis preditoras.

Os parâmetros dos modelos hidráulicos exibem algumas vezes distribuição não viesada e as transformações logarítmicas geralmente são realizadas sobre os parâmetros, como por exemplo, sobre hb e λ no modelo de Brooks e Corey (RAWLS e

BRAKENSIEK, 1985). WÖSTEN, FINKE e JANSEN (1995) aplicaram as transformações para $\ln(\alpha)$ e $\ln(n-1)$ nos parâmetros da equação de van GENUCHTEN para normalizar suas distribuições. As transformações são também necessárias no caso de interdependência entre as variáveis. VEREECKEN *et al.* (1989) transformaram a distribuição do tamanho de partículas em fatores principais para reduzir a dependência linear entre as variáveis.

2.5.2 Regressões não lineares estendidas

Um problema nas FPTs paramétricas é a interdependência entre os parâmetros dos modelos hidráulicos. Para superar esses problemas, van den BERG *et al.* (1997) sugeriram as seguintes etapas:

- (1) ajustar o modelo com os dados observados;
- (2) aplicar a análise de regressão sobre um dos parâmetros;
- (3) ajustar o modelo novamente fixando o parâmetro calculado no item (2) e então;
- (4) continuar com a etapa (2) para outros parâmetros até que todos os parâmetros sejam ajustados.

SCHEINOST, SINOWSKI e AUERSWALD (1997b) relatam as dificuldades na estimativa de escala e forma dos parâmetros α e n da equação de van GENUCHTEN usando aproximações por regressão linear múltipla. Os autores desse estudo realizaram uma sobre-parametrização (muitos parâmetros ajustáveis em relação ao número de pontos obtidos experimentalmente) da equação de van GENUCHTEN e propuseram as seguintes abordagens:

- Configurar a relação esperada entre os parâmetros do modelo hidráulico e as propriedades do solo;
- Inserir a relação dentro do modelo e estimar os parâmetros da relação através do ajuste de modelos estendidos usando regressões não lineares.

2.5.3 Redes neurais artificiais

Uma abordagem mais recente para o ajuste de FPTs foi através da utilização de redes neurais artificiais (RNA) (TAMARI, WÖSTEN e RUIZ-SUÁREZ, 1996; PACHEPSKY, TIMLIN e VARALLYAY, 1996; SCHAAP e BOUTEN, 1996). As

redes neurais artificiais tentam construir um modelo matemático que supostamente trabalha em analogia a um cérebro humano. Uma RNA é simplesmente um método de regressão sofisticado, a qual tem uma rede de muitos elementos simples, também denominados de processadores ou “neurônios”. Os elementos são conectados por canais de comunicação ou “conectores” os quais são usualmente carregadores de dados numéricos, codificado por uma variedade de meios e, muitas vezes, organizados em subgrupos ou camadas. Uma rede neural pode desempenhar uma função particular quando certos valores são atribuídos as conexões ou “pesos” entre elementos. Para descrever um sistema, não se assume uma estrutura conhecida do modelo; ao invés disso, as redes são ajustadas ou “treinadas”, de modo que uma determinada variável de entrada leva a uma específica saída de destino, o que é chamado de aprendizagem supervisionada (DEMUTH e BEALE, 1998). TAMARI e WÖSTEN (1999) fizeram uma revisão sobre os métodos das RNAs e suas aplicações nas FPTs hidráulicas.

Os modelos matemáticos das RNAs são compostos por um conjunto de funções simples ligadas entre si por pesos “w” (Figura 6). As redes consistem de um conjunto de unidades de entrada, um conjunto de unidades de saída e um conjunto de unidades escondidas, o qual faz a ligação entre as entradas e as saídas. As unidades escondidas extraem as informações úteis das unidades de entrada e as usam para prever as unidades de saída. O tipo do modelo da RNA, nesse caso, é chamado de “Perceptron multicamadas (PMC)”.

Se uma rede tem uma única variável de entrada x , então ela é transmitida através de uma conexão que é multiplicada pelo peso w , formando uma variável com peso ponderado wx (**Figura 6**). Essa variável wx é utilizada como tendência para representar o argumento da função de transferência F para produzir uma variável de saída estimada, $\hat{y}$.

A polarização é simplesmente um peso com variável de entrada constante igual a um, que também funciona como uma constante adicionada ao peso. O modelo pode ser escrito como:

$$\hat{y} = F(wx + w_0)$$

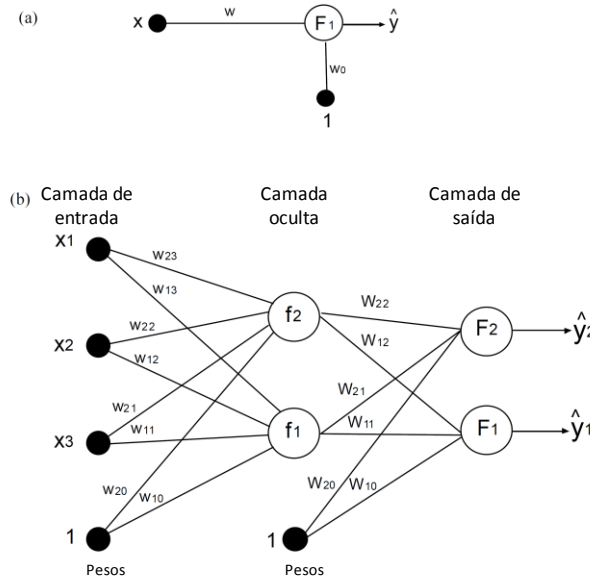


Figura 6. Estrutura de uma rede neural.

Princípios semelhantes podem ser aplicados ao PMC com múltiplas variáveis de entrada (x) e saída (y). Se um PMC tem somente uma camada escondida, então o modelo pode ser representado como:

$$\hat{y}_i(w, W) = F_i \left(\sum_{j=1}^{ne} W_{ij} f_j \left(\sum_{l=1}^{nv} w_{jl} x_l + w_{j0} \right) + W_{i0} \right)$$

Onde: x é variável de entrada unitária, $\hat{y}$ é a variável de saída unitária, w e W são os elementos de peso das matrizes para as variáveis e camadas ocultas; f e F são os ativadores ou funções de transferência, ne é o número de unidades escondidas e nv é o número de variáveis de entrada unitárias.

Os pesos são os parâmetros de ajuste das redes e são determinados pelo ajuste dos dados através do processo de treinamento (NORGAARD, 1997). O objetivo do treinamento é minimizar a soma de quadrados do resíduo entre os valores medidos e preditos pela Rede.

$$O(w, W, x) = \sum_{i=1}^N (y(i) - \hat{y}(i))^2$$

A função objetiva é minimizada através de um processo iterativo; por exemplo, através do algoritmo de Levenberg-Marquadt.

Através de uma RNA, PACHEPSKY, TIMLIN e VARALLYAY (1996) estimaram o conteúdo de água para oito potencias e também os parâmetros da Equação de van GENUCHTEN a partir da distribuição do tamanho de partículas e densidade da solo para dados de 230 solos. Eles concluíram que, para as FPTs de estimativa pontuais, a RNA foi melhor que os métodos de regressão, mas para as FPTs paramétricas, o

desempenho de ambos os métodos foi semelhante. SCHAAP, LEIJ e van GENUCHTEN (1998) estimaram os parâmetros de van GENUCHTEN para 1.209 amostras de solo dos EUA utilizando RNAs. Eles distinguiram suas FPTs baseados no nível de informação disponível: classe textural; argila, silte e areia; textura + densidade do solo; textura + densidade do solo + umidade volumétrica medida nas sucções de 33 e 1.500 kPa. Eles concluíram que as RNAs tiveram melhor desempenho do que quatro FPTs anteriormente publicadas e a acurácia de predição das FTPs geralmente aumentaram quando mais variáveis de entrada foram utilizadas, mas sempre houve uma considerável diferença entre os valores preditos e medidos. KOEKKOEK e BOOLTINK (1999) aplicaram metodologias similares para estimar a retenção de água em diferentes potenciais utilizando uma base de dados com solos holandeses e escoceses. Eles concluíram que as RNAs foram um pouco melhores em desempenho do que as FPTs obtidas por GUPTA e LARSON (1979), mas as melhorias não foram significativas.

2.5.4 Outros métodos de ajuste

Ainda há espaço para diferentes metodologias para o desenvolvimento de FPTs para estimar a retenção de água. Várias outras aproximações têm sido desenvolvidas, como por exemplo, a interpolação logarítmica. MCQUEEN e MILLER (1974) apresentaram um método para derivar a retenção de água sobre um potencial log ($pF = \log_{10} [-h/cm]$) versus o gráfico de umidade. Eles reconhecem três segmentos na curva: (1) segmento capilar (da saturação até a sucção de 33 kPa); (2) segmento do filme de absorção (33 até 10.000 kPa); e (3) segmento de absorção forte (10.000 até 1.000.000 kPa). Usando somente um ponto, toda a curva pode ser gerada.

AHUJA, NANEY e WILLIAMS (1985) introduziram o método de interpolação/extrapolação tipo log-log, o qual assume uma função do tipo potência ou o modelo de CAMPBELL (1974) para a retenção de água em sucções menores do que o valor de entrada de ar (h_b). Ajustando uma linha reta entre a umidade do solo nas sucções de 3,3 até 1.500 kPa sobre um escala log-log, a retenção de água para outros potenciais pode ser interpolada ou também extrapolada. CRESSWELL e PAYDAR (1996) usaram esta aproximação para prever os parâmetros do modelo de Campbell. GREGSON (1987) e AHUJA e WILLIAMS (1991) posteriormente modificaram esta relação em um modelo de “um parâmetro”:

$$\ln|h| = a + b \ln(\theta - \theta_r)$$

Onde a e b têm a seguinte relação linear:

$$a = p + q b$$

Os parâmetros p e q são relacionados com o grupo textural.

Os valores médios desses parâmetros foram determinados por AHUJA e WILLIAMS (1991) para solos com diferentes texturas. A partir das informações da textura do solo e da medida de um ponto da curva de retenção (θ , h) é possível estimar toda a curva de retenção.

Várias técnicas modernas de regressão têm sido desenvolvidas atualmente e podem ser utilizadas no desenvolvimento de novas FPTs. Os métodos alternativos incluem modelos aditivos generalizados (HASTIE, 1992) ou árvores de regressão (CLARK e PREGIBON, 1992), os quais foram disponibilizados em programas estatísticos, como o S-Plus (MATHSOFT, 1999). MCKENZIE e JACQUIER (1997) usaram modelos de árvores de regressão para prever a K_s a partir de dados de morfologia do solo.

PACHEPSKY *et al.* (1998) e PACHEPSKY e RAWLS (1999) utilizaram o chamado “método de aprendizagem indutiva” (Group Method of Data Handling - GMDH) (FARROW, 1984) para estimar a curva de retenção de água. O GMDH, utilizado geralmente em técnicas de mineração de dados, fornece uma seleção automática de variáveis de entrada essenciais e constrói uma regressão polinomial hierárquica conforme a complexidade necessária. Eles encontraram que o GMDH é mais útil que as RNA, uma vez que automatiza a busca de variáveis de entrada essenciais para serem incluídas nas FPTs e apresenta uma forma explícita das equações.

2.6 VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA

O principal objetivo do desenvolvimento de FPTs é a possibilidade de prever as propriedades do solo que são de difícil medição. O quão bem as FPTs preveem certas propriedades do solo pode ser avaliado pela comparação entre dados observados/medidos com os dados preditos. A previsibilidade das FPTs é usualmente avaliada sobre um conjunto de dados não usados na geração da FPTs (usualmente chamados de conjunto de validação).

Existem algumas medidas estatísticas que são usadas para avaliar o desempenho ou previsibilidade das FPTs, conhecidos como “qualidade do ajuste”. IMAM *et al.*

(1999) distinguíram duas categorias principais de qualidade das medidas ajustadas, por exemplo, a base residual e os métodos de base de associação estatística. As medidas de *base residual* fornecem uma estimativa quantitativa dos desvios das predições da FPTs a partir de dados medidos. Os indicadores usados geralmente são o erro padrão (*EP*), o erro absoluto médio (*EAM*), a soma de quadrado do erro (*SQE*), a raiz erro quadrático médio (*RQEM*) e o critério de informação de Akaike (*AIC*). As *bases de associação estatística* fornecem estimativas da covariância entre os valores observados e preditos, tal como o coeficiente de correlação (*r*) e o coeficiente de determinação (R^2).

A medida de base residual é capaz de comparar a magnitude do erro em diferentes modelos. Embora, o coeficiente de determinação (R^2) tenha se mostrado uma medida pobre de desempenho dos modelos (WILLMOTT, 1981), ele ainda é amplamente utilizado (VERECKEN *et al.*, 1989). O valor de R^2 é geralmente interpretado como “a proporção da variância explicada pelo modelo” e resulta em valores entre zero (pior ajuste) e um (ajuste perfeito), o qual é facilmente interpretável. Mas esta medida somente avalia a relação linear entre variáveis, sendo insensível a diferenças proporcionais e aditivas. Por exemplo, se o valor predito ($\hat{y}$) tem uma relação linear com os dados observados (y : $\hat{y} = c_1 y + c_2$), o R^2 sempre será igual a um, independente do valor de c_1 e c_2 . Ele representa a proporção da variância explicada pelo modelo somente se o modelo é linear com um termo constante (intercepto) (RATKOWSKY, 1990).

Medidas alternativas para superar essa insensibilidade foram propostas em alguns estudos, como o índice de eficiência (NASH e SUTCLIFFE, 1970) e o índice de concordância (WILLMOTT *et al.*, 1985). Na década de 90, CAMARGO e SENTELHAS (1997) propuseram o índice de desempenho obtido pela multiplicação do índice de concordância pelo o coeficiente de determinação, o qual permite classificar o desempenho das FPTs em seis categorias, que podem variar desde ótimo até péssimo.

O uso do desvio médio (*DM*) e da raiz quadrada dos desvios médios (*RQDM*) como uma medida de quão bem uma FPT ajusta a curva de retenção foi proposto por TIETJE e TAPKENHINRICHS (1993). A *RQDM* é a soma da diferença entre áreas da curva de retenção de água observada e a predita. Um simples número pode representar quão bem as FPTs ajustam toda a curva de retenção. O *DM* indica se as FPTs estão sub ou superestimando os dados observados, enquanto que *RQDM* mede o desvio absoluto em relação aos dados observados.

As validações estatísticas somente avaliam quão bem as FPTs descrevem os dados. Assim, como o objetivo principal ou final da geração de FPTs é servir como variável de entrada para modelos de simulação, a validação deve ser avaliada em sua aplicação final. VEREECKEN, DIELS e FEYEN (1990) denominaram essa avaliação das FPTs de “validação funcional”, como por exemplo, a avaliação de desempenho das FPTs no contexto de uma aplicação específica. Como a validação depende da aplicação final de interesse, WÖSTEN *et al.* (1986) sugeriram um conceito similar chamado de “critério funcional”. As propriedades avaliadas exigem cálculos usando as duas curvas, quais sejam, a de retenção de água e a da condutividade hidráulica. Eles avaliaram as seguintes propriedades: tempo de deslocamento da água de superfície do solo para um determinado nível do lençol freático; níveis do lençol freático, os quais permitem estabelecer uma velocidade do fluxo ascendente para um determinado nível; e a velocidade do fluxo descendente, o qual corresponde a um determinado conteúdo de ar no solo.

A validação funcional de FPTs hidráulicas foi realizada por VEREECKEN, DIELS e van ORSHOVEN (1992) com o objetivo de avaliar a qualidade dos solos na Bélgica, usando simulações da água no sistema solo-planta. Os parâmetros avaliados foram a capacidade de suprimento de água (relação da atual com a taxa potencial de transpiração) e a drenabilidade (quantidade acumulada da drenagem do perfil de solo). O efeito da incerteza nas variáveis de entrada das FPTs (por exemplo, densidade do solo ou conteúdo de argila) sobre o erro das variáveis estimadas foi avaliado por meio da simulação de Monte Carlo (VEREECKEN, DIELS e van ORSHOVEN, 1992). Os autores observaram que as FPTs utilizadas não conseguiram estimar adequadamente a capacidade de suprimento de água e drenabilidade

Algumas comparações entre FPTs classificatórias e contínuas em relação a certos aspectos do manejo do solo foram realizadas por WÖSTEN, FINKE e JANSEN (1995). Os autores concluíram que os resultados da validação funcional podem ser diferentes e ambíguos, dependendo do aspecto avaliado. WÖSTEN (1990) avaliou quatro diferentes métodos para gerar as propriedades hidráulicas na caracterização do perfil de água no solo. Os métodos usados na geração das propriedades hidráulicas do solo foram as medidas de laboratório, as propriedades hidráulicas médias em nível de escala regional, as propriedades hidráulicas médias em nível de escala nacional e as FPTs contínuas. Essas propriedades hidráulicas foram usadas como entrada nos modelos de simulação solo-água. O armazenamento de água na camada de 0-50 cm do

perfil de solo foi avaliado utilizando simulação por um período de sete anos. Eles concluíram que não houve diferença significativa entre as medidas diretas, FPTs classificatórias e FPT contínuas. No entanto, as medidas diretas proporcionam uma estimativa mais próxima do armazenamento de água, medida pela sonda de nêutrons. Em um estudo subsequente, van ALPHEN, BOOLTINK e BOUMA (2000) mostraram que as FPTs contínuas, que utilizam a porosidade total do solo como uma das variáveis de entrada no modelo, conseguem estimar o conteúdo de água com menor incerteza. LOAGE (1992) observaram que a predição do deflúvio em uma pequena bacia hidrográfica pastejada foi significativamente reduzida quando se utilizou a K_s estimada pela FPTs, ao invés de dados de infiltração de campo.

TIMLIN, AHUJA e WILLIAMS (1996) usaram dados de FPTs publicadas para estimativa da retenção de água e K_s como variáveis de entrada em modelos de crescimento e desenvolvimento de soja, simulando o rendimento de soja para sete locais do Mississippi (EUA) por um período de sete anos. A retenção de água predita pela FPTs se correlacionou bem com os valores medidos, enquanto que a estimativa da K_s foi ruim. A simulação dos rendimentos foi mais afetada pelo método de estimativa da retenção de água do que pela K_s . Os valores simulados de rendimentos dos cultivos, através das propriedades preditas usando FPTs, diferiram significativamente dos rendimentos simulados usando as propriedades medidas. Os rendimentos médios simulados com dados das FPTs foram maiores do que os obtidos usando as propriedades medidas, pois as FPTs resultaram em maiores estimativas da disponibilidade de água.

BOND *et al.* (1999) compararam a medição direta ou estimada através de uma FPT para as propriedades hidráulicas de um solo Red Kandosol (ISBELL, 1996) em Wagga Wagga na Austrália. As propriedades hidráulicas do solo também foram usadas para simular o transporte de brometo no solo e o balanço hídrico no campo. Os autores observaram que existem grandes diferenças nas propriedades hidráulicas entre os dois métodos, mas pequenas diferenças nos resultados da simulação. Os resultados simulados mostraram boa concordância com as medidas de campo, indicando a aplicabilidade das FPTs neste tipo de utilização.

ESPINO *et al.* (1995) avaliaram o desempenho de FPTs publicadas para estimar a retenção de água e a condutividade hidráulica na predição do conteúdo de água no solo, potencial matricial e fluxo da drenagem para uma determinada camada do perfil. As simulações utilizando as FPTs como variáveis de entrada superestimaram a umidade

atual ao longo do perfil, mas a predição do potencial matricial próximo à superfície do solo foi muito boa. O fluxo de drenagem estimado foi quatro vezes maior em comparação aos valores calculados usando as propriedades hidráulicas medidas. Eles apresentaram algumas notas de advertência em relação ao uso das FPTs:

- as FPTs foram derivadas de dados limitados. Como resultado, elas nunca vão capturar completamente todos os processos hidráulicos de interesse;
- a aplicabilidade das FPTs deve ser definida;
- a validação funcional das FPTs deve ser realizada inicialmente sobre as classes de solo para as quais as funções foram derivadas;
- diferentes tipos de modelos hidráulicos devem ser avaliados;
- apesar da grande incerteza, os autores acreditam que o uso de FPTs não prejudica os resultados da modelagem.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito de FPTs há muito tempo é aplicado na ciência do solo e foi reavivado nas últimas décadas; devido à necessidade de aquisição de dados nos processos de simulação dos modelos de avaliação de problemas agronômicos e ambientais. A geração de novas FPTs foi facilitada com a criação de grandes bases de dados eletrônicas e de métodos computacionais. As FPTs são ferramentas úteis para avaliação dos indicadores de qualidade estáticos e dinâmicos do solo, mas é preciso um cuidado especial na aplicação de FPTs já publicadas que foram desenvolvidas em outros lugares (MINASNY, 2006).

O principal problema para o desenvolvimento de FPTs para o Estado de Santa Catarina é a ausência de um banco de dados com informações sobre as propriedades físicas, químicas e classificação do solo. Atualmente, existem apenas trabalhos publicados que avaliaram as propriedades hidráulicas para um determinado tipo de manejo ou uso do solo, abrangendo poucas classes de solo.

Diferentes autores têm feito observações para definir se as propriedades preditas pelas FPTs produzem estimativas confiáveis quando utilizadas nos processos de simulação de modelos. Pode-se sugerir que as propriedades hidráulicas estimadas por FPTs são úteis em simulação para grandes áreas, mas não são suficientemente precisas para prever as propriedades de um local específico. A aplicação de FPTs ao nível de escala de uma fazenda, por exemplo, resulta em um desempenho questionável. Como a

natureza da regressão, por sua própria definição, é trazer a variação ao redor da média, a variação esperada pode ser medida. Assim, a utilidade de FPTs dependerá, claramente, da escala e do objetivo do estudo.

Muitas FPTs ainda estão sendo desenvolvidas, abordando temas na busca de: (a) melhorar as expressões matemáticas utilizadas nas equações da FPTs; (b) utilizar os parâmetros básicos do solo de maior influência nas FPTs; (c) organizar os solos em grupos, para aumentar a acurácia da FPT criada para cada um desses grupos (PACHEPSKY e RAWLS, 1999); e (d) métodos alternativos para gerar ou ajustar as FPTs.

No entanto, existe pouco esforço para integrar e aplicar as funções e recursos disponíveis. Um sistema de pedotransferência ótimo é aquele que fornece as melhores estimativas das propriedades do solo a partir das informações disponíveis, bem como informa sobre as incertezas associadas às FPTs (RUBIO, LLORENS e GALLART, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ESTUDO 1: RELAÇÕES ENTRE A RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA COM OS ATRIBUTOS DOS SOLOS

3.1.1 Perfis dos solos amostrados

O estudo foi realizado com 44 perfis, representando as principais classes de solos de Santa Catarina, as quais possuíam atributos químicos, físicos e mineralógicos distintos. Os perfis amostrados já foram objeto de pesquisa em outros estudos realizados por: ALMEIDA, KÄMPF e ALMEIDA (1997); ALMEIDA, MAÇANEIRO e KLAMT (2000); ALMEIDA, TÓRRENT e BARRÓN (2003); CORRÊA (2003); BRINGHENTI (2010); PAES SOBRINHO (2005); EMBRAPA & EPAGRI (2008). Entretanto, em nenhum destes trabalhos foi realizada a avaliação dos atributos relacionados à retenção e disponibilidade de água no solo. Na **Tabela 7** encontram-se a classe de solo, a localização, a litologia, os horizontes amostrados e a altitude dos 44 perfis. Nos anexos e apêndices encontram-se informações detalhadas dos atributos/propriedades morfológicos, químicos e físicos dos perfis de solo.

Tabela 7. Classe de solo, localização, litologia, horizontes amostrados e altitude dos 44 perfis de solos do Estado de Santa Catarina, utilizados para determinação da capacidade de campo, ponto de murcha permanente e conteúdo de água disponível, 2010.

Classe de Solo	Município de SC	Litologia	Horizontes amostrados	Altitude
Argissolo Amarelo Alítico típico	Botuverá	Granada Muscovita Xisto	A, BA e Bt1 e Bt2	85
Argissolo Amarelo Distrófico típico	Pomerode	Hornblendito	A, BA e Bt	330
Argissolo Vermelho Distrófico abrupto	Içara	Siltitos e arenitos finos	A1, A2, A3, BA1, BA2, Bt1 e Bt2	65
Argissolo Vermelho Eutroférico chernossólico	Ipira	Basalto Amigdalóide	A, Bt1 e Bt2	550
Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico	Massaranduba	Granulito Máfico	A, BA e Bt1, Bt2 e Bt3	130
Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico	Blumenau	Granulito Máfico	A, AB, BA, Bt1, Bt2 e Bt3	40
Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico	Gaspar	Parametamórfica	A, BA, Bt1, Bt2 e Bt3	70
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico	Lauro Muller	Arenitos e siltitos	A1, AB, BA, Bt1 e Bt2	250
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico	Sangão	Granito	A1, A2, AB, BA, Bt1 e Bt2	170
Cambissolo Háptico Alítico típico	Rio do Sul	Folhelho	A1, A2, BA, Bi1 E Bi2	349
Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico	Luzerna	Basalto	A e Bi	670
Cambissolo Húmico Alumínico típico	Lages	Siltito	A1, A2, BA, Bi	930
Cambissolo Húmico Alumínico típico	Bom Retiro	Folhelho	A, BA, Bi1 e Bi2	890
Cambissolo Húmico Distrófico organossólico	Bom Jardim da Serra	Basalto	O1, O2, A, BA e Bi1 e Bi2	1372
Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico	Água Doce	Dácito	A1, A2, AB e Bi	1245
Chernossolo Argilúvico Férreo típico	Descanso	Basalto Amigdalóide	A1, A2, AB, BA e Bt	480
Chernossolo Argilúvico Férreo típico	Ipira	Basalto Amigdalóide	A, BA e Bt1 e Bt2	585
Chernossolo Háptico Férreo típico	Descanso	Basalto Amigdalóide	A1, AB e B	510
Latossolo Amarelo Distrófico argissólico	São Bonifácio	Migmatito	A, AB, BA, Bw1 e Bw2	570
Latossolo Bruno Distrófico nitossólico húmico	Vargeão	Dacito	A1, A2, AB, BA, Bw1 e Bw2	1043

continua ...

... continuação

Classe de Solo	Município de SC	Litologia	Horizontes amostrados	Altitude
Latossolo Vermelho Distroférrico Húmico	Faxinal dos Guedes	Basalto	A1, A2, AB, BA, Bw1 e Bw2	839
Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico	Campos Novos	Basalto	A1, A2, AB, BA, Bw1 e Bw2	948
Latossolo Vermelho Eutroférrico típico	Pinhalzinho	Basalto Amigdalóide	A1, A2, BA, Bw1 e Bw2	535
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico	Rancho Queimado	Migmatito	A, AB, Bw1 e Bw2	420
Neossolo Litólico Chernossólico típico	Ipira	Basalto Amidalóide	A	485
Neossolo Litólico Distrófico típico	Ponte alta	Arenito Botucatu	A1, A2 e C	875
Neossolo Litólico Húmico típico	Ponte alta	Arenito Botucatu	A1 e A2	900
Neossolo Litólico Húmico típico	São Joaquim	Basalto	A	1373
Neossolo Quartzârenico Órtico típico	Araquari	Depósitos aluvionares atuais	A1, A2, AC e C1	19
Neossolo Quartzârenico Órtico típico	Araranguá	Depósitos aluvionares atuais	A, C1, C2 e C3	30
Neossolo Quartzârenico Órtico típico	Imbituba	Depósitos aluvionares atuais	A, C1, C2 e C3	27
Nitossolo Bruno Alumínico rúbrico	Tangará	Basalto	Ap, A2, AB, BA, Bt1 e Bt2	752
Nitossolo Bruno Distroférrico húmico	Luzerna	Basalto	A1, A2, A3, AB, BA e Bt1 e Bt2	785
Nitossolo Bruno Distroférrico típico	Luzerna	Basalto	A, BA e Bt1 e Bt2	710
Nitossolo Bruno Distroférrico típico	Santa Cecília	Basalto	Ap, AB, BA, Bt1 e Bt2	1075
Nitossolo Bruno Distroférrico típico	Água Doce	Andesito basalto	A1, A2, BA, Bt1 e Bt2	1205
Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbrico	Curitibanos	Riodácito	A1, A2, A3, AB, BA, Bt1 e Bt2	1022
Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbrico	Ponte Serrada	Dácito	A1, A2, AB, BA, Bt1 e Bt2	1046
Nitossolo Bruno Distrófico rúbrico	Lebon	Basalto	A1, A2, AB, BA, Bt1 e Bt2	1010
Nitossolo Bruno Distrófico típico	Painel	Basalto	A, AB, BA, Bt1 e Bt2	1150
Nitossolo Vermelho Alumínico húmico	Bocaina do Sul	Folhelho	A, AB, BA, Bt1 e Bt2	872
Nitossolo Vermelho Eutroférrico chernossólico	Descanso	Basalto	A1, A2, BA e Bt1 e Bt2	580
Nitossolo Vermelho Eutroférrico típico	Ipira	Basalto Amigdalóide	A, BA e Bt1 e Bt2	690
Nitossolo Vermelho Eutrófico típico	Luzerna	Basalto	A, AB e Bt	575

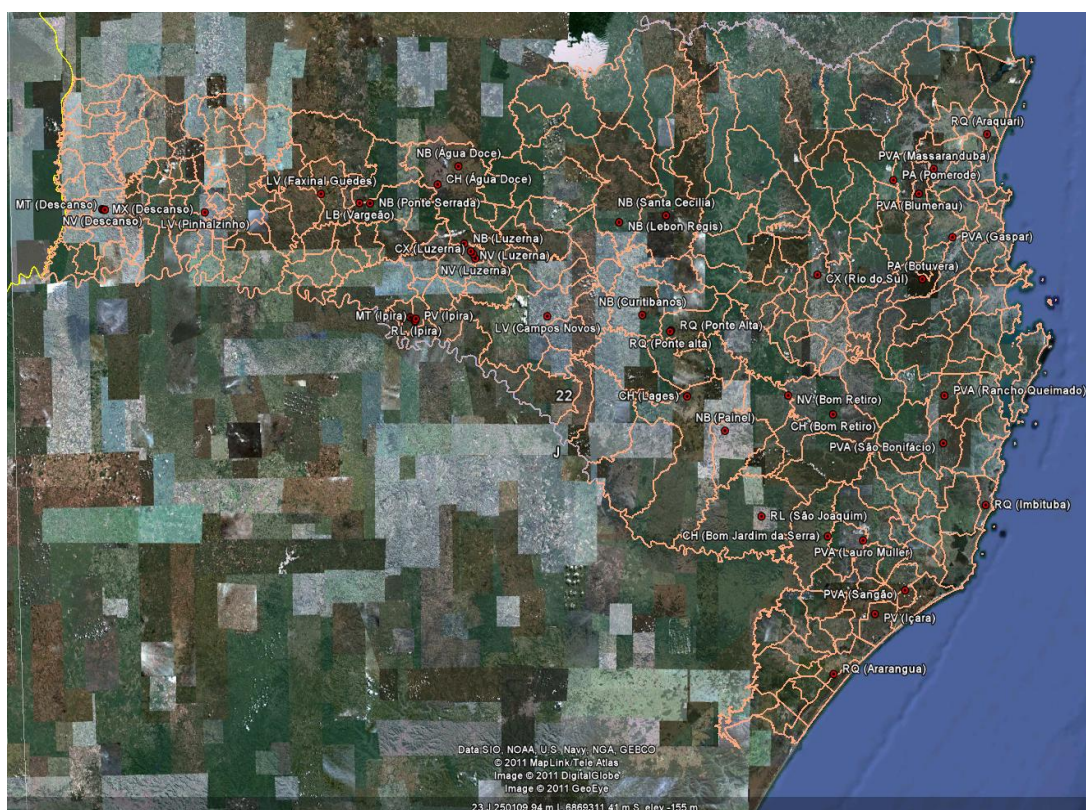


Figura 7. Distribuição geográfica dos 44 perfis de solo no Estado de Santa Catarina.

3.1.2 Coleta de amostras

Em cada um desses perfis foram coletadas amostras nos horizontes A, AB, BA e B, quando presentes no solo, e suas subdivisões (ex. A1, A2, B1, B2, ...), exceto nos Neossolos Quartzarênicos, nos quais foram coletadas amostras nos horizontes A e C e suas subdivisões. As amostras com estrutura preservada foram coletadas com anéis volumétricos com 6,0 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, totalizando 70,7 cm³, coletando-se quatro anéis na parte mediana de cada horizonte, no sentido horizontal. As amostras com estrutura alterada foram armazenadas em sacos plásticos para determinação de alguns atributos físicos e químicos do solo. Nos 44 perfis de solo foram coletadas 800 amostras com estrutura preservada e 200 amostras com estrutura alterada.

3.1.3 Determinações de laboratório

A retenção de água no solo foi determinada nas 800 amostras coletadas com estrutura preservada. Após a saturação, as amostras foram submetidas a diferentes

sucções para determinar a curva de retenção de água. As sucções de 1, 6 e 10 kPa foram aplicadas em coluna de areia (REINERT e REICHERT, 2006) e as sucções de 33, 100, 300, 500 e 1.500 kPa, em câmaras de Richards (RICHARDS, 1949). A capacidade de campo foi considerada como a umidade volumétrica do solo na sucção de 10 kPa, correspondente a água armazenada nos poros com diâmetro $< 300 \mu\text{m}$; o ponto de murcha permanente como a umidade volumétrica na sucção de 1.500 kPa, correspondente a água armazenada nos poros com diâmetro $< 0,2 \mu\text{m}$; e o conteúdo de água disponível como a volume de água entre as sucções de 10 e 1.500 kPa, equivalente ao volume de água nos poros com diâmetro entre 0,2 e 300 μm .

Para a determinação da distribuição granulométrica do solo (argila dispersa em hidróxido de sódio), os teores de argila total (0-0,002 mm), silte (0,002-0,053 mm), areia muito fina (0,053-0,106 mm), areia fina (0,106-0,25 mm), areia média (0,25-0,5 mm), areia grossa (0,5-1,0 mm), areia muito grossa (1,0-2,0 mm), além da presença de cascalho (2,0-20 mm) foram determinados segundo metodologia descrita por DAY (1965). Devido ao alto teor de matéria orgânica em alguns solos, para promover uma boa dispersão da argila foi necessário alterar essa metodologia. Na dispersão química foi utilizado uma dose de hidróxido de sódio igual a 20 ml de NaOH 1,0 N, o qual foi aplicado numa amostra inicial com 40 g. e se utilizou um tempo de agitação de 02 minutos de agitação, seguidos de 12 horas de repouso e 04 horas de agitação horizontal a 120 rpm.

Para determinação do teor de carbono orgânico foi realizada a secagem em estufa a 60 graus Celsius, destorroamento e moagem das amostras de solo, utilizando-se a fração TFSA (partículas com diâmetro $< 2 \text{ mm}$). O teor de carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley & Black modificado por TEDESCO *et al.* (1995) e o teor de matéria orgânica foi obtido multiplicando-se o teor de carbono orgânico por 1,724.

3.1.4 Banco de dados

Além das determinações realizadas em laboratório, um banco de dados foi criado com atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo disponibilizados pelos estudos de: ALMEIDA, KÄMPF e ALMEIDA (1997); ALMEIDA, MAÇANEIRO e KLAMT

(2000); ALMEIDA, TÓRRENT e BARRÓN (2003); CORRÊA (2003); BRINGHENTI (2010); PAES SOBRINHO (2005); EMBRAPA & EPAGRI (2008).

O banco de dados foi composto das seguintes propriedades:

- Químicas: pH em água; pH em KCl; teores trocáveis de Potássio (K), Sódio (Na), Alumínio (Al) e Cálcio mais Magnésio (Ca+Mg); fósforo disponível (P); Hidrogênio mais Alumínio (H+Al), soma de bases; CTC efetiva; CTC pH 7; saturação por bases e saturação por Al;

- Físicas: Argila dispersa em água; grau de floculação;

- Mineralógicas: teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 ; relação K_i ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$); relação K_r ($\text{SiO}_2/[\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3]$); atividade da argila (EMBRAPA, 2006); atividade da argila descontando a contribuição da matéria orgânica, que considera que cada 10 gramas de carbono por 1 quilograma de solo aumenta a CTC em $4,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (EMBRAPA, 1988).

3.1.5 Análise estatística

Correlação linear de Pearson

Com o objetivo de identificar quais atributos/propriedades físicos, químicos ou mineralógicos afetam a retenção e disponibilidade de água do solo, foi calculado o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) através do programa SAS 9.2 (SAS INSTITUTE INC., 2010). Os atributos físicos: CC, PMP e AD foram correlacionadas com as frações granulométricas do solo, com o teor de matéria orgânica, com os atributos de solo disponíveis no banco de dados e com a altitude do perfil para cada um dos horizontes.

Análise de Trilha

Após a análise de correlação de Pearson, alguns coeficientes de correlação (r) foram desdobrados em efeitos diretos e indiretos, através da análise de trilha. Essa análise possibilita estudar os efeitos de algumas variáveis independentes sobre uma variável básica (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992; CRUZ, 2006).

Neste estudo foram analisados os efeitos diretos e indiretos utilizando 24 modelos de regressão múltipla. Os atributos físicos CC e PMP e a AD foram utilizados como variáveis preditas (individualmente) e os seguintes atributos físicos

foram utilizados como variáveis preditoras:

- (1) teores de argila, silte e matéria orgânica e a densidade de partículas;
- (2) teores de areia total, silte e matéria orgânica e a densidade de partículas;
- (3) teores de areia divididos em duas classes, silte e matéria orgânica e a densidade de partículas;
- (4) teores de areia divididos em cinco classes, silte e matéria orgânica e a densidade de partículas.

Esses modelos de regressão foram analisados em separado para os horizontes superficiais e subsuperficiais.

A não utilização dos teores de areia e argila em um mesmo modelo de regressão deveu-se ao alto coeficiente de correlação entre essas duas variáveis, o que resulta em uma alta colinearidade de variáveis. Com isso as estimativas dos coeficientes no modelo de regressão se tornam instáveis e o erro padrão dos coeficientes pode ser amplamente inflacionado (BELSLEY, KUH e WELSCH, 1980). Nos modelos 2, 3 e 4 fez-se possível avaliar a eficiência de separação da fração areia (53-2000 μm) em diferentes números de classes para estimativa da retenção e disponibilidade de água

Antes de submeter os modelos de regressão para a análise de trilha, o diagnóstico de multicolinearidade foi realizado entre as variáveis independentes, com o objetivo de identificar se todos os modelos de regressão atendiam o requisito de multicolinearidade fraca, com índice de condição menor que 10, indispensável em modelos de regressão múltiplos (BELSLEY, KUH e WELSCH, 1980).

Como todos os 24 modelos atenderam este requisito, a matriz de correlação entre as variáveis preditas e preditoras foi submetida à análise de trilha através do programa GENES (CRUZ, 2011), sendo os resultados interpretados segundo CRUZ (2006).

3.2 ESTUDO 2: RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM DIFERENTES AGRUPAMENTOS DOS SOLOS

Nesse estudo foi utilizando o mesmo banco de dados descrito no material e métodos do estudo 1. A análise estatística foi realizada através de diferentes agrupamentos dos perfis ou dos horizontes dos solos amostrados. Em um primeiro momento, observou-se a necessidade de separar os horizontes superficiais dos

horizontes subsuperficiais, devido às grandes diferenças na retenção de água entre os mesmos. Assim, o banco de dados foi dividido em dois grupos de acordo com o tipo de horizonte: os horizontes O, A, AB e AC e suas subdivisões foram agrupados como horizontes “superficiais”; e os horizontes BA, B e C (em Neossolos Quartzarênicos) e suas subdivisões foram agrupados como horizontes “subsuperficiais”. Portanto, todas as análises estatísticas foram realizadas por horizonte, de forma independente.

Após a divisão do banco de dados, a CC, o PMP e a AD foram comparados utilizando diferentes fatores de efeitos fixos:

- agrupamento dos horizontes do solo por sua classe textural, utilizando o triângulo textural proposto por SANTOS *et al.* (2005);
- agrupamento dos perfis de solos em função de sua litologia;
- agrupamento dos perfis de solo em função da classe de solo (2º nível categórico) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006);
- agrupamento dos perfis de solo em função da região geográfica do Estado de Santa Catarina;
- agrupamento dos horizontes do solo em função de seu tipo textural, utilizando a Instrução Normativa 2/2008, do MAPA (BRASIL, 2008).

Utilizando o procedimento “PROC GLIMMIX”, do programa SAS 9.2 (SCHABENBERGER, 2007), foi realizada a análise estatística univariada dos três atributos físicos do solo em cada horizonte utilizando um modelo misto, usando em cada rotina, um dos fatores de efeito fixo descritos acima.

Para todos os fatores de efeito fixo testados, cada perfil coletado foi considerado como um fator de efeito aleatório, utilizando a opção “random”, pressupondo que estes 44 perfis representam satisfatoriamente as principais classes de solo no Estado de Santa Catarina.

Devido ao diferente número de horizontes em cada perfil de solo, que formaram os horizontes “superficiais” ou os horizontes “subsuperficiais”, foi incluído o efeito da ordem de posição de cada horizonte no perfil de solo utilizando a opção “random residual” no modelo estatístico. Por exemplo, todos os horizontes B1 (abrangendo Bt1, Bw1, Bi, Bt) foram denominados por um único nome, para que o programa estatístico comparasse horizontes com características morfológicas mais equivalentes.

Para cada um dos efeitos fixos considerados e em cada horizonte (“superficiais” e “subsuperficiais”) foi realizado a comparação das médias da CC, do PMP e da AD, utilizando o Teste de Diferença Mínima Significativa (DMS).

Devido ao uso de um modelo estatístico misto, as médias com valores semelhantes podem ter letras diferentes, o que ocorre porque o método de comparação adotado calcula um erro padrão para a média de cada grupo. Consequentemente, um grupo com maior variabilidade em suas repetições será semelhante estatisticamente a um número maior de grupos.

3.3 ESTUDO 3: AVALIAÇÃO DE FPTs DA LITERATURA

3.3.1 Banco de dados

A capacidade preditiva de algumas FPTs publicadas na literatura para estimativa da retenção e disponibilidade de água foi avaliada comparando-se as umidades medidas nos solos de Santa Catarina com as umidades estimadas por esses modelos. Como a retenção e a disponibilidade de água diferiram entre horizontes superficiais e subsuperficiais do solo, conforme constatado no capítulo 1, todas as FPTs da literatura foram avaliadas utilizando dois conjuntos de dados, um composto por horizontes superficiais do solo (horizontes O, A, AB e suas divisões) e outro com dados dos horizontes subsuperficiais do solo (BA, B e suas divisões, e no horizonte C dos Neossolos Quartzarênicos).

Para avaliar a predição da umidade e disponibilidade de água por FPTs foi necessário criar um banco de dados com informações dos atributos dos solos de Santa Catarina, como: teores de argila, silte, areia (fina, grossa e total) e matéria orgânica; densidade do solo; e umidade nas sucções de 10, 33 e 1.500 kPa. O banco de dados utilizado para avaliar as FPTs foi composto por dados disponíveis em trabalhos de pesquisa, conforme demonstrado na **Tabela 8**; e sua estatística descritiva consta na **Tabela 9**.

3.3.2 Funções de pedotransferência avaliadas

Como a retenção e disponibilidade de água podem ser expressas através da umidade gravimétrica ou volumétrica do solo, fez-se a avaliação de FPTs com as duas formas de expressar essa característica. Foram avaliadas algumas das FPTs propostas por ARRUDA, JÚLIO JR. e OLIVEIRA (1987); BELL e van KEULEN (1995); MASSUTI (1997); OLIVEIRA *et al.* (2002); REICHERT *et al.* (2009), as quais estimam a umidade gravimétrica do solo sob diferentes sucções (Tabela 10). Além dessas, também foram avaliadas algumas FPTs propostas por GUPTA e LARSON (1979); RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON (1982); SAXTON, RAWLS *et al.* (1986); van DEN BERG *et al.* (1997); TOMASSELLA, HODNETT e ROSSATO (2000); GIAROLA, SILVA e IMHOFF (2002); SAXTON e RAWLS (2006), as quais estimam a umidade volumétrica do solo sob diferentes sucções. Algumas informações sobre as FPTs avaliadas constam na **Tabela 10** e **Tabela 11**.

Além da estimativa da retenção de água nas sucções de 10, 33 ou 1.500 kPa para os horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos de Santa Catarina, também foi calculado o conteúdo de água disponível para as plantas, obtido pela diferença da umidade estimada entre as sucções de 10 a 1.500 kPa ou entre 33 a 1.500 kPa. A AD foi calculado para cada autor(es) separadamente nos dois horizontes, ou seja, não foi realizado o cruzamento entre FPTs de autores diferentes.

Foram utilizados dois limites superiores diferentes para estimativa do conteúdo de água disponível, pois alguns autores geraram FPTs com a capacidade de campo na sucção de 10 kPa (van den BERG *et al.*, 1997; GIAROLA *et al.*, 2002), enquanto outros na sucção de 33 kPa (ARRUDA *et al.*, 1987; MASUTTI, 1997; OLIVEIRA *et al.*, 2002; SAXTON e RAWLS, 2006), e, alguns trabalhos disponibilizam FPTs para a estimativa da umidade nessas duas sucções (GUPTA e LARSON, 1979; RAWLS *et al.*, 1982; REICHERT *et al.*, 2009).

Tabela 8. Informações sobre o banco de dados utilizado para a validação das FPTs publicadas na literatura que estimam a umidade do solo e/ou a disponibilidade de água de amostras de solo com estrutura preservada. Santa Catarina, 2012.

Autor(es)	Uso/manejo do solo	Local de coleta	Camadas/horizontes amostrados	Sucções aplicadas ⁽¹⁾ (kPa)	Total de amostras (média das repetições)	
					Horiz. A	Horiz. B
MERTZ <i>et al.</i> (2004)	Áreas de produção de maçã orgânica e convencional	Urupema-SC	0-10 e 10-20 cm	0, 6, 10, 100, 300 e 1.500	4	-
ESPAÑHOL (2005)	Áreas de produção de maçã com diferentes adubações e manejo da palhada	São Joaquim-SC	0-5 e 5-10 cm	0, 6, 10, 33, 100, 300, 500 e 1.500	4	-
LUNARDI NETO <i>et al.</i> (2008)	Área reconstruída após a mineração de carvão	Lauro Muller-SC	0-5 e 5-10 cm	0, 6, 10, 33 e 100	10	-
COSTA <i>et al.</i> (2009)	Área de integração lavoura pecuária com diferentes preparos do solo	Otacílio Costa-SC	0-5; 5-10; 10-15 e 15-20 cm	0, 6, 10, 33, 100, 300, 500 e 1.500	20	-
COSTA <i>et al.</i> (2010)	Área de diferentes rotações de <i>Pinus</i> e floresta nativa	Otacílio Costa-SC	0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-60 cm	0, 1, 6, 10, 33, 100, 300, 500 e 1.500	15	-
SANTANA <i>et al.</i> (2010)	Áreas de produção de <i>Pinus</i> com altas e baixas produtividades	Palmeira, Ponte Alta, Otacílio Costa, Bocaína do Sul e Alfredo Wagner (8 perfis)	Horizontes A, AB, BA, B e suas divisões	0, 6, 10, 100, 300, 500 e 1.500	19	23
Banco de dados apresentados no capítulo 1 obtidos pelo Autor	Vários	Perfis de 34 municípios de SC	Horizontes A, AB, BA, B (também o C dos RQ) e suas divisões	0, 1, 6, 10, 33, 100, 300, 500 e 1.500	90	110
Total					162	133

⁽¹⁾ Em amostras de solo com estrutura preservada

Tabela 9. Estatística descritiva dos atributos dos solos do Estado de Santa Catarina utilizados para validar algumas FPTs publicadas na literatura. Santa Catarina, 2012.

Atributos Físicos ¹	N. amostras	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Horizontes superficiais					
Argila	162	410	186	15	789
Silte	162	328	118	12	581
Areia	162	262	212	17	973
Areia fina (53-250 µm)	105	101	202	6	828
Areia Grossa (250-2.000 µm)	105	159	127	3	653
Matéria orgânica	162	46	33	5	242
Densidade do solo	161	1,13	0,21	0,52	1,74
θ _g 10 kPa	160	0,43	0,16	0,09	1,49
θ _g 33 kPa	139	0,40	0,16	0,08	1,39
θ _g 1.500 kPa	151	0,31	0,12	0,04	1,02
AD _g 10-1.500 kPa	150	0,12	0,05	0,05	0,47
AD _g 33-1.500 kPa	129	0,10	0,04	0,04	0,37
θ _v 10 kPa	160	0,46	0,10	0,14	0,77
θ _v 33 kPa	139	0,42	0,10	0,12	0,72
θ _v 1.500 kPa	151	0,33	0,09	0,05	0,56
AD _v 10-1.500 kPa	150	0,13	0,04	0,06	0,25
AD _v 33-1.500 kPa	129	0,10	0,03	0,05	0,20
Horizontes subsuperficiais					
Argila	133	530	205	22	841
Silte	133	234	100	20	516
Areia	133	236	224	11	950
Areia fina (53-250 µm)	110	85	205	5	884
Areia Grossa (250-2.000 µm)	110	147	106	6	590
Matéria orgânica	133	18	9	3	44
Densidade do solo	133	1,27	0,18	0,91	1,69
θ _g 10 kPa	133	0,39	0,11	0,09	0,61
θ _g 33 kPa	110	0,38	0,11	0,08	0,58
θ _g 1.500 kPa	133	0,31	0,10	0,04	0,47
AD _g 10-1.500 kPa	133	0,08	0,02	0,04	0,17
AD _g 33-1.500 kPa	110	0,06	0,02	0,03	0,14
θ _v 10 kPa	133	0,48	0,10	0,13	0,63
θ _v 33 kPa	110	0,45	0,11	0,12	0,61
θ _v 1.500 kPa	133	0,38	0,10	0,06	0,55
AD _v 10-1.500 kPa	133	0,09	0,02	0,05	0,18
AD _v 33-1.500 kPa	110	0,08	0,02	0,04	0,15

¹ θ_g = umidade gravimétrica (kg kg⁻¹); θ_v = umidade volumétrica (cm³ cm⁻³); AD_g = conteúdo gravimétrico de água disponível (kg kg⁻¹); AD_v = conteúdo volumétrico de água disponível (cm³ cm⁻³); e sucções aplicadas = 10, 33 e 1.500 kPa.

Tabela 10. FPTs publicadas na literatura utilizadas para estimar a umidade gravimétrica e volumétrica do solo.

Autores	Solos	Sucção (kPa)	Modelo*	Obs	R**
GUPTA e LARSON (1979)	EUA	10	$\theta_v \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3}\text{)} = 0,00502*\text{Areia} + 0,00855*\text{Silte} + 0,00883*\text{Arg} + 0,00497 *\text{MO} - 0,242*\text{Ds}$	(2)	0,96
		33	$\theta_v \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3}\text{)} = 0,00308*\text{Areia} + 0,00589*\text{Silte} + 0,00804*\text{Arg} + 0,00221*\text{MO} - 0,143*\text{Ds}$	(2)	0,96
		1500	$\theta_v \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3}\text{)} = -0,000059*\text{Areia} + 0,00114*\text{Silte} + 0,00577*\text{Arg} + 0,00223*\text{MO} + 0,0267*\text{Ds}$	(2)	0,95
RAWLS <i>et al.</i> (1982)	EUA	10	$\theta_v \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3}\text{)} = 0,412-0,003*\text{Areia}+0,0023*\text{Arg}+0,0317*\text{MO}$	(2)	0,81
		33	$\theta_v \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3}\text{)} = 0,258-0,002*\text{Areia}+0,0036*\text{Arg}+0,0299*\text{MO}$	(2)	0,87
		1500	$\theta_v \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3}\text{)} = 0,026-0,005*\text{Arg}+0,016*\text{MO}$	(2)	0,80
SAXTON <i>et al.</i> (1986)	EUA	10 e 1500	$U_v \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3}\text{)} = \exp \left[\frac{(\ln (\psi)-\ln (A))}{B} \right]$ $A = \exp (-4,40-0,0715 * \text{Arg}-4,88.10^{-4} * \text{Areia}^2-4,28.10^{-5} * \text{Areia}^2 * \text{Arg}) * 100$ $B = -3,14-0,00222 * \text{Arg}^2-3,48.10^{-5} * \text{Areia} * \text{Arg}$	(2) (2)	0,99 0,99
ARRUDA <i>et al.</i> (1987)	São Paulo	33	$\theta_g \text{ (g } 100\text{g}^{-1}\text{)} = 3,074 + 0,629 * (\text{Sil} + \text{Arg}) - 0,003438 * (\text{Sil} + \text{Arg})^2$	(1) (2)	0,91
		1500	$\theta_g \text{ (g } 100\text{g}^{-1}\text{)} = 1,074 + 0,2712 * (\text{Sil} + \text{Arg})$	(1) (2)	0,95
BELL & van KEULEN (1995)	México	1500	$\theta_g \text{ (g } 100\text{g}^{-1}\text{)} = -0,992 + 0,351 * \text{arg} + 0,47 * \text{MO}$	(2)	0,85
MASUTTI (1997)	Pernambuco	33	$\theta_g \text{ (g } 100\text{g}^{-1}\text{)} = -1,569 + 0,429 * (\text{Sil} + \text{Arg})$	(2)	0,88
		1500	$\theta_g \text{ (g } 100\text{g}^{-1}\text{)} = 9,225 - 0,114 * \text{Areia} + 0,233 * \text{Arg} + 1,0780 * \text{CO}$	(2)	0,89
van den BERG <i>et al.</i> (1997)	Regiões tropicais	10	$\theta_v \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3} . 10^2\text{)} = 10,88 + 0,347 * \text{Arg} + 0,211 * \text{Sil} + 1,76 * \text{CO}$	(2)	0,86
		1500	$\theta_v \text{ (m}^3 \text{ m}^{-3} . 10^2\text{)} = 3,83 + 0,272 * \text{Arg} + 0,212 * \text{Sil}$	(2)	0,80
		AD ₁₀₋₁₅₀₀	$\text{ADv (m}^3 \text{ m}^{-3} . 10^2\text{)} = 7,676 + 0,093 * \text{Arg}$	(2)	0,21
Continua...					

					... continuação		
Autores	Solos	Sucção (kPa)	Modelo*		Obs	R**	
OLIVEIRA <i>et al.</i> (2002)	Pernambuco	33	θ_g (g 100g ⁻¹) = 0,00333*Sil+0,00387*Arg		(2)	0,96	
		1500	θ_g (g 100g ⁻¹) = -0,00038*Areia + 0,00153*Sil + 0,00341*Arg - 0,0309*Ds		(2)	0,95	
		AD ₃₃₋₁₅₀₀	ADg (g 100g ⁻¹) = -0,000021*Areia + 0,000203*Sil + 0,000054*Arg+ 0,021656*Ds		(2)	0,97	
GIAROLA <i>et al.</i> (2002)	Rio Grande do Sul e Santa Catarina	10	θ_v (m ³ m ⁻³) = 0,081 + 0,005*Silte + 0,004*Arg		(2)	0,79	
		1500	Horizonte A θ_v (m ³ m ⁻³) = -0,031 + 0,005*Silte + 0,003*Arg		(2)	0,81	
		1500	Horizonte B θ_v (m ³ m ⁻³) = 0,024 + 0,005*Silte + 0,003*Arg		(2)	0,81	
TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)	Brasil	Toda a Curva	Foi utilizado o “level 4”. Consultar o artigo, pois para obtenção dos parâmetros α , η , m , θ_{sat} e θ_{res} da equação de van GENUCHTEN (1980) são necessários vários cálculos. Os parâmetros α , η , m , θ_{sat} e θ_{res} são estimados utilizando equações com uma ou mais das seguintes variáveis independentes: teores de argila, silte, areia fina, areia grossa e teor de carbono orgânico.			(2, 4)	-
SAXTON e RAWLS (2006)	EUA	33	θ_v (m ³ m ⁻³ .10 ²) = $\theta_{v_{33r}}$ + [1,283* ($\theta_{v_{33r}}$) ² - 0,374* $\theta_{v_{33r}}$ - 0,015] $\theta_{v_{33r}}$ = - 0,251*Areia + 0,195*Arg + 0,011*MO + 0,006*(Areia*MO) - 0,027*(Argila*MO) + 0,452*(Areia*Arg) + 0,299			(2)	0,63
		1500	θ_v (m ³ m ⁻³ .10 ²) = $\theta_{v_{1500r}}$ + (0,14* $\theta_{v_{1500r}}$ – 0,02) $\theta_{v_{1500r}}$ = - 0,024*Areia + 0,487*Arg + 0,006*MO + 0,005*(Areia*MO) - 0,013*(Argila*MO) + 0,068*(Areia*Arg) + 0,031			(2)	0,86
REICHERT <i>et al.</i> (2009)	Rio Grande do Sul	10	Completo	θ_g (kg kg ⁻¹) = 0,268 + 0,05*Arg + 0,24*(Arg+Silte) + 0,85*MO – 0,127*Ds Simples θ_g (kg kg ⁻¹) = 0,037 + 0,38*(Arg+Silte)	(3)	0,67	
		33	Completo	θ_g (kg kg ⁻¹) = 0,106 + 0,29*(Arg+Silte) + 0,93*MO - 0,048*Ds Simples θ_g (kg kg ⁻¹) = 0,366 - 0,34*(Areia)	(3)	0,54	
		33	Completo	θ_g (kg kg ⁻¹) = 0,106 + 0,29*(Arg+Silte) + 0,93*MO - 0,048*Ds Simples θ_g (kg kg ⁻¹) = 0,366 - 0,34*(Areia)	(3)	0,62	
		33	Completo	θ_g (kg kg ⁻¹) = 0,106 + 0,29*(Arg+Silte) + 0,93*MO - 0,048*Ds Simples θ_g (kg kg ⁻¹) = 0,366 - 0,34*(Areia)	(3)	0,46	
		1500	Completo	θ_g (kg kg ⁻¹) = -0,04 + 0,15*Arg + 0,17*(Arg+Silte) + 0,91*MO + 0,026*Ds Simples θ_g (kg kg ⁻¹) = 0,236 + 0,045*(Arg) - 0,21*(Areia)	(3)	0,62	
					(3)	0,44	

* θ_g = umidade gravimétrica; θ_v = umidade volumétrica; ** Coeficiente de determinação obtido na geração da FPT por seus respectivos autores. ⁽¹⁾ Na equação original, fração silte = Ø 2-20 µm, e na validação da FPT foi utilizada fração silte = Ø 2-53 µm. ⁽²⁾ Matéria orgânica, areia, silte e argila em g 100g⁻¹ e densidade do solo kg L⁻³.

⁽³⁾ Matéria orgânica, areia, silte, argila em kg kg⁻¹. ⁽⁴⁾ Na equação original, fração areia fina = Ø 50-200 µm e areia grossa = Ø 200-2.000 µm e na validação da FPT foi utilizada fração areia fina = Ø 53-250 µm e areia grossa = Ø 250-2.000 µm.

Tabela 11. Informações adicionais sobre o banco de dados que originou FPTs publicadas na literatura utilizadas para estimar a umidade do solo.

Autores	Camadas/horizontes	Estrutura preservada	Estrutura alterada	Geração*	Validação
GUPTA e LARSON (1979)	Não informado		Entre 4 e 1.500	43	61
RAWLS <i>et al.</i> (1982)	Não informado	Entre 10 kPa a 2.000 kPa	-	(2541)	-
SAXTON <i>et al.</i> (1986)	Utilizou dados de Rawls <i>et al.</i> (1982)	Entre 10 kPa a 2.000 kPa	-	(2541)	-
ARRUDA <i>et al.</i> (1987)	A e B, até 50 cm	-	30 e 1.500	(218)	
BELL & van KEULEN (1995)	0-20 cm	-	1.500	(148)	
MASUTTI (1997)	A, E, B e C	-	33 e 1.500	10 (76)	
van den BERG <i>et al.</i> (1997)	Perfis A, AB, BA e B	1, 3, 2, 10, 20 e 50	250 e 1.500	31 (91)	13 (35)
OLIVEIRA <i>et al.</i> (2002)	Não informa	-	33 e 1.500	98 (467)	
GIAROLA <i>et al.</i> (2002)	A e B	10	1.500	18 (35)	
TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)	Não informado	Entre 10 a 1.500	-	(517)	(113)
SAXTON e RAWLS (2006)	A	10 e 1.500	-	(2.000)	(2000)
REICHERT <i>et al.</i> (2009)	Várias camadas, A e B	Entre 1 e 1.500 kPa	Entre 1 e 1.500 kPa	(294 a 685)	(239 a 307)

* números fora dos parêntesis = quantidade de perfis de solo; números entre parêntesis = quantidade de amostras.

3.3.3 Indicadores estatísticos utilizados para a avaliação das funções de pedotransferência

Análise de regressão linear

A inclinação e o intercepto da equação ajustada de regressão entre a umidade medida e a observada indicam o quão semelhantes são os dados preditos em relação aos observados, enquanto que a inclinação indica a relação relativa entre os valores estimados e medidos. O intercepto no eixo Y indica a presença de defasagem ou adiantamento entre as predições do modelo e a umidade medida. Uma inclinação igual 1 e um intercepto no eixo Y igual a zero indicam que o modelo reproduz perfeitamente a magnitude da umidade medida (WILLMOTT, 1981). A inclinação e o intercepto do eixo Y são geralmente analisados sobre a pressuposição que os valores medidos e estimados são linearmente relacionados, o que implica em duas pressuposições: (1) todos os erros da variância estão contidos nos valores estimados; e (2) os dados medidos são livres de erro (WILLMOTT, 1981).

O intercepto e a inclinação entre a umidade estimada (y) e a medida (x) foram obtidos pelo método dos quadrados mínimos; através do procedimento PROC REG (SAS, 2010).

Coefficiente de correlação de Pearson (r) e coeficiente de determinação (R²)

O coeficiente de correlação (r) e o coeficiente de determinação (R²) de Pearson descrevem a colinearidade entre os dados estimados e medidos (SCHULTZ e SCHULTZ, 1992). O coeficiente de correlação foi obtido pela seguinte equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\theta i_m - \theta média_m) \times (\theta i_e - \theta média_e)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta i_m - \theta média_m)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta i_e - \theta média_e)^2}}$$

Onde: n é o número de amostras; θi_m é a i-ésima observação da umidade do solo medida; θi_e é i-ésima observação da umidade do solo estimada pela função de pedotransferência; $\theta média_m$ é a média de umidade do solo medida; e $\theta média_e$ é a média de umidade do solo estimada.

O coeficiente de determinação (R^2) foi obtido elevando-se o coeficiente de correlação ao quadrado.

O coeficiente de correlação varia de -1 a 1 e indica o grau de relação linear entre os dados estimados e observados. Se $r = 0$, não existe relação linear. Se $r = 1$ ou -1 existe uma relação linear perfeita positiva ou negativa.

Similarmente, o coeficiente de determinação (R^2) descreve a proporção da soma de quadrados nos dados medidos explicados pelo modelo. O R^2 varia de 0 a 1, e quanto maior seu valor, menor será a variância do erro.

Embora r e R^2 sejam amplamente usados para a avaliação de modelos, essas estatísticas são supersensíveis a valores extremos (outliers) e insensíveis a diferenças proporcionais ou aditivas entre as predições do modelo e os dados medidos (Legates and McCabe, 1999).

O r e R^2 entre os dados estimados (y) e medidos (x) foram obtidos utilizando o procedimento PROC REG (SAS, 2010).

Índice de concordância (d)

O índice de concordância (d), desenvolvido por WILLMOTT (1981), foi obtido pela seguinte equação:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\theta_{i_m} - \theta_{i_e})^2}{\sum_{i=1}^n (|\theta_{i_m} - \theta_{médio_m}| + |\theta_{i_e} - \theta_{médio_m}|)^2} \right]$$

Onde: n é o número de amostras; θ_{i_m} é a i -ésima observação da umidade do solo medida; θ_{i_e} é a i -ésima observação da umidade do solo estimada pela função de pedotransferência; e $\theta_{médio_m}$ é a média de umidade do solo medida.

O índice de concordância é uma medida padronizada do grau de erro de predição do modelo e varia entre 0 e 1. Um valor $d = 1$ indica uma perfeita concordância entre os valores medidos e preditos, enquanto que um $d = 0$ indica não concordância entre as duas variáveis (WILLMOTT, 1981). O índice de concordância representa a relação entre o quadrado médio do erro e o “erro potencial” (WILLMOTT, 1984). O autor define o erro potencial como o somatório dos quadrados dos valores absolutos da diferença entre os valores observados e sua média, somados aos valores absolutos da diferença entre os valores estimados e a média dos observados. O índice de concordância pode detectar diferenças aditivas e proporcionais entre as médias

observadas e estimadas e suas variâncias. Contudo, d é sensível a valores extremos, devido às diferenças serem elevadas ao quadrado.

Índice de Eficiência de Nash-Sutcliffe (EF)

O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (EF) foi obtido pela seguinte equação:

$$EF = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\theta_{i_m} - \theta_{i_e})^2}{\sum_{i=1}^n (\theta_{i_m} - \theta_{médio_m})^2} \right]$$

Onde: n é o número de amostras; θ_{i_m} é a i -ésima observação da umidade do solo medida; θ_{i_e} é a i -ésima observação da umidade do solo estimada pela função de pedotransferência; e $\theta_{médio_m}$ é a média da umidade do solo medida.

O EF é uma estatística normalizada que determina a magnitude relativa da variância residual comparada à variância dos dados medidos (NASH e SUTCLIFFE, 1970). O EF indica quão bem a relação entre os dados observados e simulados se ajustam em relação à linha 1:1, variando entre $-\infty$ a 1,0 (inclusive 1), com o valor ótimo quando o $EF = 1,0$. Valores de EF entre 0,0 e 1,0 são geralmente vistos como níveis aceitáveis de desempenho, enquanto que valores de $EF < 0$ indicam que a média dos valores observados é melhor do que os valores estimados pelo modelo, ou seja, um desempenho inaceitável.

Na simulação de modelos hidrológicos, o EF é mais utilizado porque é recomendado para uso pela ASCE (1993) e LEGATES e McCABE (1999) e dispõe de vasta informação sobre a faixa de valores encontrados em trabalhos que avaliam modelos hidrológicos. LEGATES e MCCABE (1999) sugeriram um EF modificado, o qual é menos sensível a valores extremos, muito comuns de serem observados em modelos que utilizam dados de bacias hidrográficas.

Neste estudo, apenas a versão original de EF foi calculada, pois a versão modificada ainda não foi utilizada em FPTs que estimam a retenção ou disponibilidade de água no solo, o que resulta na falta de uma indicação de viabilidade de seu uso. Além disso, no banco de dados com retenção de água nos solos de Santa Catarina ocorreu uma quantidade insignificante de valores extremos, diferentemente do que se observa em modelos hidrográficos, nos quais valores extremos são comuns (MORIASI *et al.*, 2007).

Índice de desempenho

O índice de desempenho (c), proposto por CAMARGO e SENTELHAS (1997), foi obtido pela seguinte equação:

$$c = r * d$$

Onde: r é o coeficiente de correlação linear de Pearson e d é o índice de concordância de Willmott.

O c representa o produto dos índices de precisão e de exatidão simultaneamente, onde, a precisão é dada pelo coeficiente de correlação (r), que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, ou seja, o erro aleatório, enquanto que a exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados, a qual matematicamente é dada pelo índice de concordância (d) (CAMARGO e SENTELHAS, 1997).

Esse índice foi proposto inicialmente para avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial, mas seu uso foi ampliado para FPTs devido aos mesmos princípios estatísticos existentes entre a comparação de modelos de estimativa para a evapotranspiração de água no solo e modelos que estimam a retenção e disponibilidade de água no solo (VIELMO, 2008; BARROS *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2009; BARROS, 2010). Outra vantagem desse índice é que ele fornece uma classificação qualitativa para o desempenho do modelo avaliado (**Tabela 12**).

Tabela 12. Classificação para o índice de desempenho utilizando funções de pedotransferência para estimativa da retenção e disponibilidade de água nos solos de Santa Catarina, 2011.

Classes	Valores de c	Desempenho
1	> 0,85	Ótimo
2	0,76 a 0,85	Muito Bom
3	0,66 a 0,75	Bom
4	0,61 a 0,65	Mediano
5	0,51 a 0,60	Sufrível
6	0,41 a 0,50	Mau
7	< 0,41	Péssimo

Índices de erro

Raiz do erro quadrático médio

Para a avaliação da viabilidade de uso de algumas FPTs publicadas na literatura para estimativa da retenção de água dos solos do estado de Santa Catarina foi utilizada a

raiz do erro quadrático médio (*REQM*), também denominado de raiz dos desvios médios quadráticos (RDQM) ou raiz dos resíduos médios quadráticos (RRQM), através da seguinte equação:

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_{i_m} - \theta_{i_e})^2}$$

Onde: n é o número de amostras; θ_{i_m} é a umidade do solo medida; e θ_{i_e} é a umidade do solo estimada pela função de pedotransferência.

A utilização somente do *REQM* deve-se a grande disponibilidade desse indicador em estudos com FPTs (TOMASELLA *et al.*, 2003; MINASNY, 2006; SAXTON e RAWLS, 2006; MICHELON *et al.*, 2010; MINASNY e HARTEMINK, 2011), o que possibilita a comparação dos valores obtidos para solos do Estado de Santa Catarina com valores da literatura.

Além do *REQM*, também foi obtida a raiz do erro quadrático médio relativo (*RREQM*), a qual foi obtida pela seguinte equação:

$$RREQM = 100 \frac{REQM}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_{i_m}}$$

Onde: n é o número de amostras; θ_{i_m} é a umidade do solo medida.

O índice *RREQM* pode variar de 0 até $+\infty$. Similarmente ao *REQM*, quanto menor a *RREQM*, melhor foi o desempenho de um modelo. Por ser adimensional, a *RREQM* possibilita a comparação de diferentes variáveis preditas (diferentes sucções no caso da umidade do solo), quando um único modelo é utilizado, e também a comparação de modelos distintos que estimam variáveis diferentes (DONATELLI *et al.*, 2004). Por exemplo, a *RREQM* possibilita comparar a qualidade de predição da umidade volumétrica do solo para as sucções de 10, 33 e 1.500 kPa através da função de pedotransferência paramétrica proposta por TOMASELLA *et al.* (2000), o que não é possível ao utilizar a *REQM*, pois a umidade do solo decresce com o aumento da sucção aplicada e, conseqüentemente, os valores de *REQM* reduzem caso o desempenho do modelo seja semelhante para a predição dos três níveis de umidade do solo, o que não ocorre quando o *RREQM* é utilizado.

Erro médio

O erro médio (*EM*), também denominado de resíduos médios (*RM*), analisa a tendência de super ou subestimativa dos valores preditos pelos modelos. O erro médio foi calculado pela seguinte equação:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_{i_m} - \theta_{i_e})$$

Onde: *N* é o número de amostras; θ_{i_m} é a umidade do solo medida; e θ_{i_e} é a umidade do solo estimada pela função de pedotransferência.

O *EM* varia de $-\infty$ a $+\infty$, quando o erro médio for menor do que zero indica que houve tendência de superestimativa dos valores observados e quando o erro médio for maior do que zero indica que houve tendência de subestimativa dos valores observados. O valor ótimo do erro médio é igual a zero e indica que, na média das observações não houve tendência de super ou subestimativa. Quanto menor for a magnitude dos valores, melhor será a acurácia do modelo de predição.

Ainda que o erro médio seja amplamente utilizado para a avaliação de FPTs (TIETJE e TAPKENHINRICHS, 1993; ASSAD *et al.*, 2001; MELLO *et al.*, 2002; PAZ *et al.*, 2009; MICHELON *et al.*, 2010), esse indicador é sensível a valores extremos (outliers), sendo insensível a diferenças proporcionais entre as predições do modelo e os dados medidos. Com isso, o erro médio não deve ser utilizado isoladamente para analisar a tendência de sub ou superestimativa, mas em conjunto com a análise gráfica.

3.4 ESTUDO 4: FPTs CONTÍNUAS E PARAMÉTRICAS PARA SOLOS

3.4.1 Banco de dados

A geração e validação de FPTs para estimativa da retenção e disponibilidade de água em solos do Estado de Santa Catarina foram realizadas a partir de informações utilizadas nos Estudos 1 e 3. Todavia, o banco de dados utilizado na avaliação das FPTs publicadas na literatura foi dividido em dois, sendo um para geração das FPTs e outro para validação.

A geração das FPTs foi realizada com aproximadamente 75 % do total dos mesmos horizontes avaliados no Estudo 1 (151 horizontes), provenientes de unidades de

mapeamento de solos localizadas em 34 municípios de Santa Catarina, coletados em horizontes A, AB, BA e B, quando presentes no solo, e suas subdivisões (ex. A1, A2, AB), exceto nos Neossolos Quartzarênicos, onde coletaram-se amostras nos horizontes A e C e suas subdivisões,

A validação das FPTs que estimam a retenção e disponibilidade de água foi realizada comparando-se os valores medidos nas amostras dos solos de Santa Catarina com os valores estimados pelas FPTs. Nessa etapa foram utilizados os 25% restantes dos horizontes avaliados no Estudo 1 (49 horizontes) e também foram incluídos resultados de pesquisas realizadas com solos catarinenses.

A classe de solo, município e horizontes avaliados que compunham 75 % do total de horizontes para a geração e os 25% do total para a validação estão listados na **Tabela 13**. Informações sobre os bancos de dados utilizados para gerar ou validar as FPTs estão na **Tabela 14**.

Em estudos preliminares observou-se que a retenção e a disponibilidade de água diferiram entre horizontes superficiais e subsuperficiais do solo. Assim cada FPT foi desenvolvida a partir de três conjuntos de dados: (a) amostras de solo dos horizontes superficiais e subsuperficiais; (b) somente amostras dos horizontes superficiais (horizontes O, A, AB e suas divisões); e (c) e somente amostras dos horizontes subsuperficiais (horizontes BA, B e sua divisões, e o C dos Neossolos Quartzarênicos), o que resultou em três FPTs para cada atributo.

Tabela 13. Classe de solo (subordem), município e horizontes dos bancos de dados utilizados para a geração e/ou validação das FPTs que estimam a retenção ou disponibilidade de água em solos de Santa Catarina resultantes da partição do banco de dados utilizado no Estudo 1, 2012.

Classe de solo (local)	Horizonte	Classe de solo (local)	Horizonte
Geração/Validação (n=151)		Somente Validação (n=49)	
CH (Água Doce)	A1, A2, Bi	CH (Água Doce)	AB
CH (Bom Jardim da Serra)	BA, O2, O1, Bi1, Bi2	CH (Bom Jardim da Serra)	A
CH (Bom Retiro)	A, BA, Bi1, Bi2	CH (Lages)	A2, Bi
CH (Lages)	A1, BA	CX (Luzerna)	A
CX (Luzerna)	Bi	CX (Rio do Sul)	A1, Bi1
CX (Rio do Sul)	A2, BA, Bi2	LA (São Bonifácio)	B1, B2, BA
LA (São Bonifácio)	A, AB	LB (Vargeão)	A1
LB (Vargeão)	A2, AB, BA, Bw1, Bw2	LV (Campos Novos)	AB
LV (Campos Novos)	A1, A2, BA, Bw1, Bw2	LV (Faxinal dos Guedes)	BA, Bw1
LV (Faxinal dos Guedes)	A1, A2, AB, Bw2	LV (Pinhalzinho)	A1, Bw2
LV (Pinhalzinho)	A2, BA, Bw1	LVA (Rancho Queimado)	AB
LVA (Rancho Queimado)	A, B1, B2	MT (Ipira)	Bt2
MT (Descanso)	A1, A2, AB, BA, Bt	NB (Curitibanos)	Bt2
MT (Ipira)	A, BA, Bt1	NB (Lebon)	A2
MX (Descanso)	A, AB, B	NB (Luzerna)	B1
NB (Água Doce)	A1, A2, BA, Bt1, Bt2	NB (Painel)	AB, BA
NB (Curitibanos)	A1, A2, A3, AB, BA, Bt1	NB (Ponte Serrada)	A1, BA, Bt1
NB (Lebon)	A1, AB, BA, Bt1, Bt2	NB (Santa Cecília)	AP, Bt2
NB (Luzerna)	A, A1, A2, A3, AB, BA, B1, B2	NB (Tangará)	Bt2
NB (Painel)	A, Bt1, Bt2	NV (Bocaina do Sul)	Bt2
NB (Ponte Serrada)	A2, AB, Bt2	NV (Descanso)	A2, BA
NB (Santa Cecília)	AB, BA, Bt1	NV (Ipira)	A1, Bt2
NB (Tangará)	A2, AB, BA, AP, Bt1	PA (Botuverá)	A
NV (Bocaina do Sul)	A, AB, BA, Bt1	PA (Ipira)	A
NV (Descanso)	A1, B1, B2	PA (Pomerode)	Bt
NV (Ipira)	BA, Bt1	PV (Içara)	A2, BA2
NV (Luzerna)	A, AB, Bt	PVA (Blumenau)	A, Bt2
PA (Botuverá)	BA, Bt1, Bt2	PVA (Lauro Muller)	A, B1
PA (Ipira)	2B, 3Bt	PVA (Massaranduba)	BA
PA (Pomerode)	A, BA	PVA (Sangão)	A2, B1
PV (Içara)	A1, A3, BA1, B1, B2	RQ (Araranguá)	C2
PVA (Blumenau)	AB, BA, Bt1, Bt3	RQ (Imbituba)	A1, C1
PVA (Gaspar)	A, BA, Bt1, Bt2, Bt3		
PVA (Lauro Muller)	AB, BA, B2		
PVA (Massaranduba)	A, Bt1, Bt2, Bt3		
PVA (Sangão)	A1, AB, BA, B2		
RL (Ipira)	A		
RL (Ponte alta)	A1, A2, C1		
RL (São Joaquim)	A		
RQ (Araquari)	A1, A2, AC		
RQ (Araranguá)	A1, C1, C3		
RQ (Imbituba)	C2, C3		

Tabela 14. Informações sobre o banco de dados utilizado para gerar e/ou validar as funções de pedotransferência que estimam a umidade do solo e/ou a disponibilidade de água de amostras de solo com estrutura preservada. Santa Catarina, 2012.

Autor(es)	Uso/manejo do solo	Local de coleta	Camadas/horizontes amostrados	Sucções aplicadas ⁽¹⁾ (kPa)	Total de amostras (média das repetições)	
					Horiz. A	Horiz. B/C
Geração/Validação das FPTs						
Banco de dados utilizado no Estudo 1, obtido pelo Autor	Vários	Perfis de 34 municípios de SC	Horizontes A, AB, BA, B (também o C dos RQ) e suas divisões	0, 1, 6, 10, 33, 100, 300, 500 e 1.500	68	83
Somente validação das FPTs						
MERTZ <i>et al.</i> (2004)	Áreas de produção de maçã orgânica e convencional	Urupema-SC	0-10 e 10-20 cm	0, 6, 10, 100, 300 e 1.500	4	-
ESPANHOL (2005)	Áreas de produção de maçã com diferentes adubações e manejo da palhada	São Joaquim-SC	0-5 e 5-10 cm	0, 6, 10, 33, 100, 300, 500 e 1.500	4	-
LUNARDI NETO <i>et al.</i> (2008)	Área reconstruída após a mineração de carvão	Lauro Muller-SC	0-5 e 5-10 cm	0, 6, 10, 33 e 100	10	-
COSTA <i>et al.</i> (2009)	Área de integração lavoura pecuária com diferentes preparos do solo	Otacílio Costa-SC	0-5; 5-10; 10-15 e 15-20 cm	0, 6, 10, 33, 100, 300, 500 e 1.500	20	-
COSTA <i>et al.</i> (2010)	Área de diferentes rotações de <i>Pinus</i> e floresta nativa	Otacílio Costa-SC	0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-60 cm	0, 1, 6, 10, 33, 100, 300, 500 e 1.500	15	-
SANTANA <i>et al.</i> (2010)	Áreas de produção de <i>Pinus</i> com altas e baixas produtividades	Palmeira, Ponte Alta, Otacílio Costa, Bocaína do Sul e Alfredo Wagner (8 Perfis)	Horizontes A, AB, BA, B, C e suas divisões	0, 6, 10, 100, 300, 500 e 1.500	19	30
Banco de dados utilizaod no Estudo 1, obtido pelo Autor	Vários	Perfis de 29 municípios de SC	Horizontes A, AB, BA, B (também o C dos RQ) e suas divisões	0, 1, 6, 10, 33, 100, 300, 500 e 1.500	22	29
Total somente validação					94	59

⁽¹⁾ Amostras de solo com estrutura preservada

3.4.2 Modelos de FPTs contínuas pontuais avaliadas

As FPTs contínuas pontuais, denominadas de FPTs pontuais, foram utilizadas para estimar a umidade do solo na sucção de 10 kPa, denominada de CC10; na sucção de 33 kPa, denominada de CC33 e; na sucção de 1.500 kPa, denominada de PMP. Além dessas, também foram geradas FPTs para estimativa de dois conteúdos de água disponível, resultantes da diferença da umidade do solo entre as sucções de 10 a 1.500 kPa, denominada de AD10, e entre as sucções de 33 e 1.500 kPa, denominada de AD33. Consequentemente, para cada conjunto de variáveis preditoras (modelo) foram geradas 15 FPTs para os três bancos de dados, constituídos por amostras dos horizontes A, B ou A+B.

As FPTs pontuais para os cinco atributos físicos foram obtidas por análise de regressão múltipla, usando a opção *stepwise* disponível no procedimento *Proc Reg* do programa SAS 9.2 (SAS INSTITUTE INC., 2010). Essa opção seleciona as principais variáveis, dentre um conjunto de variáveis independentes, a um nível de significância pré-fixado e gera um coeficiente para cada uma das variáveis independentes selecionadas. Neste estudo, o nível de significância das variáveis selecionadas foi fixado em menor ou igual a 5% (Prob. $\leq$ 0,05) e as variáveis independentes mudaram em função dos diferentes modelos (conjuntos de variáveis) analisados.

Modelo 1: Textura do solo

Nesse modelo foram geradas FPTs pontuais para estimativa da CC10, CC33, PMP, AD10 e AD33 utilizando como variáveis preditoras os teores de argila, silte e areia. Por conseguinte, fez-se a disponibilização de três variáveis independentes para a seleção das melhores variáveis preditoras.

Modelo 2: Textura do solo e suas interações

Nesse modelo foram geradas FPTs pontuais para estimativa da CC10, CC33, PMP, AD10 e AD33 utilizando como variáveis preditoras os teores de argila (*a*), silte (*b*) e areia (*c*) em três formas distintas:

- efeito aditivo com variáveis em escala não transformada (*x*);
- efeito aditivo com variáveis em escala transformada: elevado ao quadrado (x^2);

raiz quadrada ($\sqrt{x}$); inverso ($1/x$); inverso do quadrado ($1/x^2$); inverso da raiz quadrada ($1/\sqrt{x}$); logaritmo natural ($\ln(x)$); logaritmo natural do quadrado ($\ln(x^2)$); logaritmo natural do inverso ($\ln(1/x)$); logaritmo natural do quadrado ao inverso ($\ln(1/x^2)$);

- efeito multiplicativo com variáveis independentes multiplicadas entre si, combinadas duas a duas, em escala não transformada ($a*b$; $a*c$; $b*c$) e elevada ao quadrado (a^2*b^2 ; a^2*c^2 ; b^2*c^2).

Por conseguinte, fez-se a disponibilização de 41 variáveis independentes para a seleção das melhores variáveis preditoras.

Modelo 3: Textura do solo e matéria orgânica (MO)

Nesse modelo foram geradas FPTs pontuais para estimativa da CC10, CC33, PMP, AD10 e AD33 utilizando como variáveis preditoras os teores de argila (a), silte (b) e areia (c) e também os teores de matéria orgânica (d). Por conseguinte, fez-se a disponibilização de quatro variáveis independentes para a seleção das melhores variáveis preditoras.

Modelo 4: Textura do solo e matéria orgânica suas interações

Nesse modelo foram geradas FPTs pontuais para estimativa da CC10, CC33, PMP, AD10 e AD33 utilizando como variáveis preditoras os teores de argila (a), silte (b) e areia (c) e de matéria orgânica (d) em três formas distintas:

- efeito aditivo com variáveis em escala não transformada (x);

- efeito aditivo com variáveis em escala transformada: elevado ao quadrado (x^2); raiz quadrada ($\sqrt{x}$); inverso ($1/x$); inverso do quadrado ($1/x^2$); inverso da raiz quadrada ($1/\sqrt{x}$); logaritmo natural ($\ln(x)$); logaritmo natural do quadrado ($\ln(x^2)$); logaritmo natural do inverso ($\ln(1/x)$); logaritmo natural do quadrado ao inverso ($\ln(1/x^2)$);

- efeito multiplicativo com variáveis independentes multiplicadas entre si, combinadas duas a duas, em escala não transformada ($a*b$; $a*c$; $a*d$; $b*c$; $b*d$; $c*d$) e elevada ao quadrado (a^2*b^2 ; a^2*c^2 ; b^2*c^2).

Por conseguinte, fez-se a disponibilização de 56 variáveis independentes para a seleção das melhores variáveis preditoras.

Modelo 5: Textura do solo, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total

Nesse modelo foram geradas FPTs pontuais para estimativa da CC10, CC33, PMP, AD10 e AD33, utilizando como variáveis preditoras os teores de argila (a), silte (b) e areia (c); os teores de matéria orgânica (d); a densidade do solo (e); a densidade de partículas (f) e a porosidade total (g) em escala não transformada.

A porosidade total foi obtida pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas estimada do solo, a qual foi fixada como igual a $2,65 \text{ g cm}^{-3}$, e resultou da seguinte equação: $g = 1 - (e/2,65)$.

Por conseguinte, fez-se a disponibilização de sete variáveis independentes para a seleção das melhores variáveis preditoras.

Modelo 6: Textura do solo, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações

Nesse modelo foram geradas FPTs pontuais para estimativa da CC10, CC33, PMP, AD10 e AD33 utilizando como variáveis preditoras os teores de argila (a), silte (b) e areia (c); os teores de matéria orgânica (d); a densidade do solo (e); a densidade de partículas (f) e a porosidade total (g) em escala não transformada. Esse modelo difere do anterior devido a utilização das variáveis independentes em três formas distintas:

- efeito aditivo com variáveis em escala não transformada (x);
- efeito aditivo com variáveis em escala transformada: elevado ao quadrado (x^2), raiz quadrada ($\sqrt{x}$); inverso ($1/x$); inverso do quadrado ($1/x^2$); inverso da raiz quadrada ($1/\sqrt{x}$); logaritmo natural ($\ln(x)$); logaritmo natural do quadrado ($\ln(x^2)$); logaritmo natural do inverso ($\ln(1/x)$); logaritmo natural do quadrado ao inverso ($\ln(1/x^2)$);
- efeito multiplicativo com variáveis independentes multiplicadas entre si, combinadas duas a duas, em escala não transformada ($a*b$; $a*c$; $a*d$; $a*e$; $a*f$; $a*g$; $b*c$; $b*d$; $b*e$; $b*f$; $b*g$; $c*d$; $c*e$; $c*f$; $c*g$; $d*e$; $d*f$; $d*g$; $e*f$; $e*g$; $f*g$) e elevada ao quadrado (a^2*b^2 ; a^2*c^2 ; b^2*c^2).

Por conseguinte, fez-se a disponibilização de 104 variáveis independentes para a seleção das melhores variáveis preditoras.

Modelo 7: Cinco classes de areia, silte, argila, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações

Nesse modelo foram geradas FPTs pontuais para estimativa da CC10, CC33, PMP, AD10 e AD33 utilizando como variáveis preditoras os teores de argila (a); silte (b); areia total(c); os teores de matéria orgânica (d); a densidade do solo (e); a densidade de partículas (f); a porosidade total (g) e também o fracionamento da areia em cinco classes de tamanho: areia muito grossa (h); grossa (i); média (j); fina (k) e muito fina (l). Nesse modelo também foi utilizada as variáveis independentes em três formas distintas:

- efeito aditivo com variáveis em escala não transformada (x);
- efeito aditivo com variáveis em escala transformada: elevado ao quadrado (x^2), raiz quadrada ($\sqrt{x}$), inverso ($1/x$), inverso do quadrado ($1/x^2$), inverso da raiz quadrada ($1/\sqrt{x}$), logaritmo natural ($\ln(x)$), logaritmo natural do quadrado ($\ln(x^2)$), logaritmo natural do inverso ($\ln(1/x)$), logaritmo natural do quadrado ao inverso ($\ln(1/x^2)$),
- efeito multiplicativo com variáveis independentes multiplicadas entre si, combinadas duas a duas, em escala não transformada ($a*b$; $a*c$; ...; $g*k$; $g*l$) e elevada ao quadrado (a^2*b^2 ; a^2*c^2 ; b^2*c^2).

Por conseguinte, fez-se a disponibilização de 188 variáveis independentes para a seleção das melhores variáveis preditoras.

3.4.2.1 Número de FPTs pontuais vs. modelos avaliados

As FPTs foram geradas para cada variável dependente utilizando três bancos de dados, constituídos pelas seguintes amostras de solos: (a) apenas de horizontes superficiais; (b) apenas de horizontes subsuperficiais ; e (c) dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Isso resultou na obtenção de três FPTs para cada variável dependente em cada modelo, o que totalizou 15 FPTs geradas para cada um dos sete modelos.

3.4.2.2 Validação das FPTs pontuais

Na validação das FPTs pontuais geradas, cada uma delas foi avaliada utilizando seis conjuntos de dados, compostos por: (banco 1) amostras dos horizontes superficiais e subsuperficiais do banco de geração; (banco 2) amostras dos horizontes superficiais do

banco de geração; (banco 3) amostras dos horizontes subsuperficiais do banco de geração; (banco 4) amostras dos horizontes superficiais e subsuperficiais do banco de validação; (banco 5) amostras dos horizontes superficiais do banco de validação; (banco 6) amostras dos horizontes subsuperficiais do banco de validação. Isto resultou em seis conjuntos de parâmetros para cada FPT.

A estatística descritiva dos atributos físicos que constituíram os seis bancos de dados utilizados para gerar/validar os sete modelos se encontra listada na **Tabela 15** e **Tabela 16**.

Os objetivos dessa divisão foram avaliar se: (a) as FPTs geradas conseguem estimar adequadamente a retenção e a disponibilidade de água igualmente nos dois bancos de dados; (b) as FPTs geradas com os dados dos dois horizontes conseguem estimar igualmente a retenção e disponibilidade de água entre os horizontes superficiais e subsuperficiais; e (c) as FPTs geradas para os horizontes superficiais conseguem estimar adequadamente a retenção e disponibilidade de água nos horizontes subsuperficiais do solo e vice versa.

3.4.2.3 Indicadores estatísticos utilizados para a validação das FPTs pontuais

A validação das FPTs foi realizada através dos mesmos indicadores estatísticos do Estudo 2, onde os detalhes de cada uma dos indicadores estatísticos podem ser obtidos.

Para avaliar as diferenças entre as umidades medidas e as estimadas pelas FPTs, foi calculada a raiz do erro médio ao quadrado (*REQM*), a raiz do erro médio ao quadrado relativo (*RREQM*), o erro médio (*EM*), o índice de eficiência (*EF*), o índice de concordância (*d*), o coeficiente de correlação (*r*), o índice de confiança (*c*), a classe de desempenho. Para as equações lineares ajustadas entre a umidades medidas e a estimadas pela FPTs foram calculados o intercepto (*a*), coeficiente angular (*b*) e coeficiente de determinação (R^2).

Além desses indicadores, também foi utilizada a Tendência Percentual (Pbias), a qual avalia a tendência das FPTs em subestimar (valores positivos) ou superestimar (valores negativos) as umidades medidas, expressada na forma de percentual. Esse indicador foi proposto por GUPTA, SOROOSHIAN e YAPO (1999) para a avaliação de modelos hidrológicos, e não foram encontrados estudos quanto a sua aplicação em

FPTs para estimativa da retenção e disponibilidade de água. Todavia, o PBIAS foi utilizado nesse estudo por facilitar a comparação entre FPT que estimam atributos físicos com médias diferentes (CC, PMP e AD), e foi obtido pela seguinte equação:

$$PBIAS (\%) = 100 \times \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\theta_{i_m} - \theta_{i_e})^2}{\sum_{i=1}^n (\theta_{i_m})} \right]$$

Onde: n é o número de amostras; θ_{i_m} é a i -ésima observação da umidade do solo medida; θ_{i_e} é i -ésima observação da umidade do solo estimada pela função de pedotransferência.

Tabela 15. Estatística descritiva dos atributos dos solos utilizados para **gerar e validar** as funções de pedotransferência a partir de solos de Santa Catarina, 2012.

Atributo	Unidade	Amostras	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Horizontes Superficiais (A)						
CC10	cm ³ cm ⁻³	68	0,43	0,12	0,14	0,77
CC33	cm ³ cm ⁻³	68	0,40	0,12	0,12	0,72
PMP	cm ³ cm ⁻³	68	0,31	0,11	0,06	0,53
AD10	cm ³ cm ⁻³	68	0,13	0,04	0,06	0,25
AD33	cm ³ cm ⁻³	68	0,10	0,03	0,05	0,20
Argila	g kg ⁻¹	68	433	230	15	789
Silte	g kg ⁻¹	68	286	139	12	573
Areia total	g kg ⁻¹	68	281	278	19	377
Areia muito grossa	g kg ⁻¹	68	26	64	0	208
Areia grossa	g kg ⁻¹	68	34	47	3	303
Areia média	g kg ⁻¹	68	55	59	3	818
Areia Fina	g kg ⁻¹	68	127	207	5	198
Areia muito fina	g kg ⁻¹	68	39	43	4	973
Matéria orgânica	g kg ⁻¹	68	47	40	10	242
Densidade do solo	g cm ⁻³	68	1,11	0,22	0,52	1,58
Densidade de partículas	g cm ⁻³	68	2,41	0,17	1,85	2,75
Porosidade Total	cm ³ cm ⁻³	68	0,58	0,12	0,80	0,40
Horizontes Subsuperficiais (B/C)						
CC10	cm ³ cm ⁻³	83	0,48	0,10	0,13	0,62
CC33	cm ³ cm ⁻³	83	0,46	0,11	0,12	0,60
PMP	cm ³ cm ⁻³	83	0,38	0,11	0,06	0,52
AD10	cm ³ cm ⁻³	83	0,10	0,02	0,05	0,18
AD33	cm ³ cm ⁻³	83	0,08	0,02	0,04	0,15
Argila	g kg ⁻¹	83	551	210	22	841
Silte	g kg ⁻¹	83	221	96	26	516
Areia total	g kg ⁻¹	83	228	240	11	362
Areia muito grossa	g kg ⁻¹	83	25	57	0	164
Areia grossa	g kg ⁻¹	83	24	34	0	226
Areia média	g kg ⁻¹	83	37	42	2	842
Areia Fina	g kg ⁻¹	83	106	193	2	199
Areia muito fina	g kg ⁻¹	83	36	37	2	950
Matéria orgânica	g kg ⁻¹	83	17	8	3	42
Densidade do solo	g cm ⁻³	83	1,22	0,16	0,92	1,64
Densidade de partículas	g cm ⁻³	83	2,46	0,13	2,17	2,80
Porosidade Total	cm ³ cm ⁻³	83	0,54	0,07	0,65	0,38
Média dos horizontes (A+B/C)						
CC10	cm ³ cm ⁻³	151	0,46	0,11	0,13	0,77
CC33	cm ³ cm ⁻³	151	0,43	0,11	0,12	0,72
PMP	cm ³ cm ⁻³	151	0,35	0,11	0,06	0,53
AD10	cm ³ cm ⁻³	151	0,11	0,03	0,05	0,25
AD33	cm ³ cm ⁻³	151	0,09	0,03	0,04	0,20
Argila	g kg ⁻¹	151	498	226	15	841
Silte	g kg ⁻¹	151	250	121	12	573
Areia total	g kg ⁻¹	151	252	258	11	377
Areia muito grossa	g kg ⁻¹	151	25	60	0	208
Areia grossa	g kg ⁻¹	151	28	41	0	303
Areia média	g kg ⁻¹	151	45	51	2	842
Areia Fina	g kg ⁻¹	151	116	199	2	199
Areia muito fina	g kg ⁻¹	151	37	39	2	973
Matéria orgânica	g kg ⁻¹	151	31	31	3	242
Densidade do solo	g cm ⁻³	151	1,17	0,20	0,52	1,64
Densidade de partículas	g cm ⁻³	151	2,44	0,15	1,85	2,80
Porosidade Total	cm ³ cm ⁻³	151	0,56	0,09	0,80	0,38

Tabela 16. Estatística descritiva dos atributos dos solos utilizados **exclusivamente para validar** as funções de pedotransferência geradas a partir de solos de Santa Catarina, 2012.

Atributo	Unidade	Amostras	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Horizontes / Camadas Superficiais (A)						
CC10	cm ³ cm ⁻³	92	0,47	0,08	0,14	0,74
CC33	cm ³ cm ⁻³	71	0,44	0,07	0,12	0,70
PMP	cm ³ cm ⁻³	83	0,34	0,08	0,05	0,56
AD10	cm ³ cm ⁻³	83	0,13	0,04	0,06	0,21
AD33	cm ³ cm ⁻³	61	0,11	0,03	0,07	0,16
Argila	g kg ⁻¹	94	393	144	36	783
Silte	g kg ⁻¹	94	358	90	21	581
Areia total	g kg ⁻¹	94	248	147	17	357
Areia muito grossa	g kg ⁻¹	37	19	61	0	224
Areia grossa	g kg ⁻¹	37	21	41	1	185
Areia média	g kg ⁻¹	37	33	39	2	731
Areia Fina	g kg ⁻¹	37	87	145	3	208
Areia muito fina	g kg ⁻¹	37	60	48	2	943
Matéria orgânica	g kg ⁻¹	94	42	26	5	139
Densidade do solo	g cm ⁻³	93	1,14	0,20	0,66	1,74
Densidade de partículas	g cm ⁻³	86	2,48	0,10	2,16	2,88
Porosidade Total	cm ³ cm ⁻³	93	0,57	0,10	0,75	0,34
Horizontes Subsuperficiais (B/C)						
CC10	cm ³ cm ⁻³	57	0,48	0,09	0,14	0,63
CC33	cm ³ cm ⁻³	27	0,45	0,12	0,12	0,61
PMP	cm ³ cm ⁻³	57	0,39	0,10	0,06	0,55
AD10	cm ³ cm ⁻³	57	0,09	0,02	0,05	0,15
AD33	cm ³ cm ⁻³	27	0,07	0,02	0,04	0,12
Argila	g kg ⁻¹	57	495	193	38	824
Silte	g kg ⁻¹	57	255	103	20	446
Areia total	g kg ⁻¹	57	249	196	22	293
Areia muito grossa	g kg ⁻¹	27	21	56	0	138
Areia grossa	g kg ⁻¹	27	24	37	1	227
Areia média	g kg ⁻¹	27	38	46	3	873
Areia Fina	g kg ⁻¹	27	123	214	6	146
Areia muito fina	g kg ⁻¹	27	35	32	6	942
Matéria orgânica	g kg ⁻¹	57	27	24	3	112
Densidade do solo	g cm ⁻³	57	1,35	0,19	0,91	1,69
Densidade de partículas	g cm ⁻³	57	2,51	0,15	2,20	2,82
Porosidade Total	cm ³ cm ⁻³	57	0,49	0,07	0,66	0,36
Média dos horizontes (A+B/C)						
CC10	cm ³ cm ⁻³	149	0,47	0,08	0,14	0,63
CC33	cm ³ cm ⁻³	98	0,44	0,09	0,12	0,61
PMP	cm ³ cm ⁻³	140	0,36	0,09	0,06	0,55
AD10	cm ³ cm ⁻³	140	0,12	0,04	0,05	0,21
AD33	cm ³ cm ⁻³	88	0,10	0,03	0,04	0,15
Argila	g kg ⁻¹	151	429	169	36	824
Silte	g kg ⁻¹	151	323	107	20	581
Areia total	g kg ⁻¹	151	249	165	17	293
Areia muito grossa	g kg ⁻¹	64	20	58	0	138
Areia grossa	g kg ⁻¹	64	22	39	1	227
Areia média	g kg ⁻¹	64	35	42	2	873
Areia Fina	g kg ⁻¹	64	102	176	6	146
Areia muito fina	g kg ⁻¹	64	49	44	6	943
Matéria orgânica	g kg ⁻¹	151	37	26	3	139
Densidade do solo	g cm ⁻³	150	1,22	0,22	0,71	1,69
Densidade de partículas	g cm ⁻³	143	2,49	0,13	2,16	2,88
Porosidade Total	cm ³ cm ⁻³	150	0,54	0,10	0,73	0,36

3.4.3 Funções de pedotransferência contínuas paramétricas

3.4.3.1 Obtenção das FPTs contínuas paramétricas

As FPTs contínuas paramétricas, denominadas de FPTs paramétricas, foram ajustadas para obtenção dos parâmetros da curva de retenção de água, utilizando a equação proposta por van GENUCHTEN (1980), através de três modelos com número de variáveis independentes distintos, sendo geradas separadamente para os horizontes superficiais e subsuperficiais.

A primeira etapa para gerar essas FPTs consistiu no ajuste dos parâmetros da curva retenção para cada um dos horizontes que constituíam os bancos de geração das FPTs (bancos 2 e 3). Para isso, foi utilizada a umidade do solo determinada em nove sucções diferentes (0, 1, 6, 10, 33, 100, 300, 500, 1.500 kPa). Essas mensurações foram realizadas em amostras com estrutura preservada, coletadas em anéis volumétricos em quadruplicata. Maiores detalhes sobre os procedimentos de laboratório na determinação dos atributos físicos do solo podem ser obtidos no material e métodos do Estudo 1. No ajuste dos parâmetros da curva de retenção de água foram utilizadas as quatro amostras coletadas em cada um dos horizontes.

O parâmetro θ_s foi obtido diretamente da porosidade total (pela saturação do anel volumétrico com água), na média das amostras existentes em cada horizonte. O parâmetro m foi obtido pelo critério sugerido por MUALEM, (1976), através da equação: $m = 1 - 1/n$, o que permite estimar a condutividade hidráulica do solo não saturado. Os demais parâmetros: alfa (α), umidade residual (θ_r) e n foram estimados por meio do procedimento *proc nlin* do programa SAS 9.2(SAS INSTITUTE INC., 2010). O θ_r teve seus valores fixados entre 0,01 a 1, α entre 0,1 e 1.000 e o m entre 0,1 e 10. A fixação dos máximos e mínimos foi realizada para evitar que houvesse equações com valores desses parâmetros extremamente diferentes das demais amostras de solo, o que inviabilizaria a obtenção das FPTs paramétricas.

Na segunda etapa, utilizou-se a análise de regressão múltipla para tentar estimar os parâmetros da equação de van GENUCHTEN por meio de diferentes conjuntos de possíveis variáveis preditoras, os quais serão descritos posteriormente. Devido a baixa capacidade de predição de alguns modelos sobre alguns dos parâmetros da curva de retenção, optou-se por reajustar a curva de retenção de água após a estimativa de cada

um dos parâmetros pela análise de regressão múltipla. Para evitar um número excessivo de variáveis independentes nas FPTs geradas para estimativa dos parâmetros θ_s , θ_r , α e n , realizou a fixação em quatro variáveis independentes para cada FPT gerada para cada um dos quatro parâmetros. As análises de regressão múltiplas foram realizadas utilizando procedimento *proc reg* do programa SAS 9.2 (SAS INSTITUTE INC., 2010).

O primeiro parâmetro a ser predito pela análise de regressão múltipla foi o θ_s . Após a obtenção da FPT para esse parâmetro, utilizou-se essa FPT para estimar o θ_s para todos horizontes do banco de dados e então substituíram-se as umidades medidas para o θ_s (porosidade total) pelas estimadas no arquivo de dados. Esse parâmetro, então, tornou-se uma constante para cada amostra e a curva de retenção de água foi reajustada no programa estatístico para obtenção de novos valores de α , θ , r e m .

O segundo parâmetro a ser estimado por uma FPTs foi o α , o qual teve uma capacidade preditiva muito baixa na escala original, optando-se então pela utilização do logaritmo natural ($\ln$) do α na análise de regressão múltipla. Os valores estimados do $\ln(\alpha)$ para todas as amostras do banco de dados foram então transformados para sua escala original (e^x) e inseridos no arquivo de dados para serem utilizados como constantes no novo ajuste da curva de retenção de água, obtendo-se então os valores de θ_r e n .

O terceiro parâmetro a ser estimado pela análise de regressão múltipla foi o θ_r , o qual foi estimado para todas as amostras por meio da FPT gerada e os θ_r estimados foram inseridos no arquivo e se tornaram uma constante no novo ajuste da curva de retenção de água, para obtenção dos novos valores de n , para o qual foi gerado uma FPT para sua estimativa.

Por último, essa FPT foi utilizada para obtenção dos valores de n estimados para todos os horizontes, realizando-se o cálculo do parâmetro m , através da equação anteriormente descrita. Esse procedimento para a geração de FPTs paramétricas foi sugerido por van den BERG *et al.* (1997) no ajuste dessas FPTs para Oxisols de regiões de clima tropical.

Após a obtenção das FPTs, calculou-se a umidade estimada do solo para todos os horizontes do solo nas mesmas sucções que as umidades foram medidas na etapa 1. Essas umidades estimadas foram então utilizadas para validação das curvas de retenção.

Foram utilizados três conjuntos de variáveis preditoras, os quais também foram utilizados na obtenção das FPTs pontuais, convencionando-se utilizar a mesma

nomenclatura anteriormente utilizada. A opção por não utilizar os modelos 1, 2, 3 e 5 para geração de FPTs se deve a baixa capacidade preditiva das FPTs geradas nesses modelos para estimativa do θ_s , α , θ_r e n da curva de retenção de água, as quais foram previamente avaliadas antes da escolha dos modelos. Por conseguinte, os modelos utilizados para geração das FPTs paramétricas foram:

- modelo 4: Textura do solo, matéria orgânica e suas interações;
- modelo 6: Textura do solo, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações;
- modelo 7: Cinco classes de areia, silte, argila, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações.

3.4.3.2 Validação das funções de pedotransferência paramétricas

Como as FPTs paramétricas foram obtidas a partir de um pequeno número de amostras (horizontes) para algumas classes texturais, o que aumenta a incerteza quanto aos parâmetros obtidos para a curva de retenção nessas classes texturais, a validação das FPTs foi realizada por classe de solo, o que viabilizou indicar para quais classes de solos as FPTs paramétricas podem ser utilizadas nos horizontes superficiais ou subsuperficiais do solo.

Como algumas classes texturais não existiam nos bancos de dados, não foi possível fazer a validação das FPTs paramétricas para essas classes, que foram as classes: argilo arenosa e siltosa nos dois horizontes; areia franca no horizontes superficiais; franco argilo siltosa e franco siltosa nos horizontes subsuperficiais.

Na **Tabela 17** são informados o número de horizontes do banco de dados existentes em cada classe textural utilizados na geração/validação das FPTs paramétricas e na **Tabela 18** são informados o número de horizontes do banco de dados existentes em cada classe textural utilizados exclusivamente para a validação das FPTs paramétricas. Todavia, a validação das FPTs do modelo 7 foi realizada com um número inferior de amostras nos bancos 5 e 6, pois os teores de areia não foram divididos em classes no estudo original que deu origem a esse banco de dados.

Na validação das FPTs paramétricas geradas neste estudo, cada uma delas foi avaliada utilizando dois conjuntos de dados. Naquelas derivadas dos horizontes superficiais foram utilizados amostras de solos dos bancos 2 e 5, e naquelas derivadas

dos horizontes subsuperficiais foram utilizados as amostras de solo dos bancos 3 e 6. O banco 2 foi composto de amostras dos horizontes superficiais do banco de geração das FPTs; o banco 3 foi composto de amostras dos horizontes subsuperficiais do banco de geração das FPTs; o banco 5 foi composto somente por amostras dos horizontes/camadas superficiais do banco de validação das FPTs; o banco 6 foi composto somente por amostras dos horizontes subsuperficiais do banco de validação das FPTs.

Maiores detalhes sobre a composição dos bancos de geração e validação encontram-se na **Tabela 13** e **Tabela 14** e a estatística descritiva dos atributos físicos que constituíram os bancos de dados utilizados para gerarem/validarem as FPT se encontram na **Tabela 15** e **Tabela 16**.

3.4.3.3 Indicadores estatísticos utilizados para a validação das FPTs paramétricas

A validação das FPTs paramétricas foi realizada, utilizando os mesmo indicadores estatísticos utilizados nas FPTs de classe. Deste modo, nessa avaliação foi calculada a raiz do erro quadrático médio (REQM), a raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), o erro médio (EM), a tendência percentual (Pbias), o índice de eficiência (EF), o índice de concordância (d), o coeficiente de correlação (r), o índice de confiança (c), a classe de desempenho, o intercepto (a), coeficiente angular (b) e o coeficiente de determinação (R^2), para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada pelas FPTs paramétricas.

Para cada horizonte, foi estimada a umidade do solo para todas as sucções em que haviam umidades medidas (inclusive na sucção zero), através da curva de retenção de água gerada usando as FPT paramétricas. Por exemplo, para os bancos de dados 2 e 3 foram estimadas nove umidades do solo em cada horizonte, correspondentes às sucções de 0, 1, 6, 10, 33, 100, 300, 500, 1.500 kPa. Para os bancos de dados 5 e 6, a quantidade de umidades estimadas foi variável conforme a disponibilidade de umidades medidas (entre 5 a 9 sucções). Após a estimativa das umidades, essas foram comparadas com as umidades medidas e então os indicadores estatísticos foram calculados.

3.4.4 Funções de pedotransferência de classe

3.4.4.1 Obtenção das FPTs de classe

As FPTs de classe foram ajustadas para obter os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) para as 13 classes texturais (SANTOS *et al.*, 2005) dos horizontes superficiais (banco 2) e subsuperficiais (banco 3). Cada banco foi subdividido, agrupando os horizontes do solo em classes texturais semelhantes.

Detalhes sobre os procedimentos de laboratório para determinar os atributos físicos podem ser obtidos no material e métodos do Estudo 1. No ajuste dos parâmetros da curva de retenção de água foram utilizadas as quatro amostras coletadas em cada um dos horizontes.

O parâmetro θ_s foi obtido diretamente da porosidade total (pela saturação do anel volumétrico com água) na média das amostras existentes em cada classe textural do solo. O parâmetro m foi obtido pela utilização do critério sugerido por MUALEM (1976), através da equação: $m = 1 - 1/n$, o que permite estimar a condutividade hidráulica do solo não saturado. Os demais parâmetros: alfa (α), umidade residual (θ_r) e n foram estimados por meio do procedimento *proc nlin* do programa SAS 9.2 (SAS INSTITUTE INC., 2010). O θ_r teve seu valor mínimo fixado em maior ou igual a zero.

É importante destacar que as FPTs, para algumas classes texturais foram obtidas a partir de um pequeno número de amostras, o que aumenta a incerteza quanto aos parâmetros obtidos. Entretanto, como o caráter desse estudo foi pioneiro em relação ao tema abordado, acredita-se que é importante a geração de FPTs para todas as classes de solos, independentemente do número de amostras utilizadas.

No total foram obtidas 10 FPTs de classe para os horizontes superficiais do solo, 9 para os horizontes subsuperficiais e uma para os horizontes orgânicos superficiais drenados de altitude. Devido a falta de amostras não foram geradas FPTs para os solos com textura argilo arenosa e siltosa nos dois horizontes; areia franca no horizonte superficial e franco argilo siltosa e franco siltosa no horizonte subsuperficial. Na **Tabela 17** constam informações do banco de dados de cada classe textural utilizada para gerar as FPTs de classe.

Tabela 17. Número de horizontes utilizados para geração das FPTs de classe, divididos por classe textural, nos horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos de Santa Catarina

Classe Textural	Horizontes Superficiais (banco 2)	Horizonte Subsuperficiais (Banco 3)
Muito argilosa	23	43
Argila	10	20
Franco argilosa	8	6
Franco arenosa	7	2
Franca	5	1
Argila siltosa	4	1
Areia	4	4
Franco siltosa	3	-
Franco argilo arenosa	2	5
Franco argilo siltosa	2	-
Areia franca	-	1

3.4.4.2 Validação das FPTs de classe

Na validação das FPTs, cada uma delas foi avaliada utilizando dois conjuntos de dados por horizonte do solo; nos horizontes superficiais foram utilizados amostras de solos dos bancos 2 e 5; para os horizontes subsuperficiais foram utilizados amostras de solos dos bancos 3 e 6. O banco 2 foi composto de amostras dos horizontes superficiais do banco de geração das FPTs; o banco 3 foi composto de amostras dos horizontes subsuperficiais do banco de geração das FPTs; o banco 5 foi composto por amostras dos horizontes/camadas superficiais do banco de validação das FPTs; o banco 6 foi composto por amostras dos horizontes subsuperficiais do banco de validação das FPTs. Maiores detalhes sobre a composição dos bancos de geração e validação encontram-se na **Tabela 13** e **Tabela 14**. A estatística descritiva dos atributos físicos que constituíram os bancos de dados utilizados para geração/validação as FPTs desse estudo encontram-se listados na **Tabela 15** e **Tabela 16**. O número de amostras/horizontes para cada classe textural utilizados nos bancos 5 e 6 encontram-se disponíveis na **Tabela 18**.

Tabela 18. Número de horizontes utilizados para validação das FPTs de classe divididos por classe textural dos horizontes superficiais e subsuperficiais dos Solos de Santa Catarina

Classe Textural	Horizontes/camadas superficiais (banco 5)	Horizontes subsuperficiais (banco 6)
Franco Argilosa	34	16
Argila	23	15
Franco	12	2
Muito Argilosa	9	17
Argila Siltosa	5	0
Franco Argilo Siltosa	4	0
Franco Siltosa	3	1
Franco Arenosa	3	-
Areia	1	2
Franco Argilo Arenosa	-	4

3.4.4.3 Indicadores estatísticos utilizados para a validação das FPTs de classe

A validação das FPTs foi realizada através dos mesmos indicadores estatísticos utilizados nas FPTs pontuais. Detalhes sobre cada uma dos indicadores estatísticos utilizados podem ser obtidos no material e métodos do Estudo 2.

Deste modo, na validação das FPTs de classe foi calculada a raiz do erro quadrático médio (REQM), a raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), o erro médio (EM), a tendência percentual (Pbias), o índice de eficiência (EF), o índice de concordância (d), o coeficiente de correlação (r), o índice de confiança (c), a classe de desempenho, o intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2).

Para cada horizonte, a umidade do solo foi estimada utilizando a curva de retenção de água da FPT para classe textural daquele solo, em todas as sucções que haviam umidades medidas (exceto na sucção zero). Por exemplo, para os bancos de dados 2 e 3 foram estimadas oito umidades do solo em cada horizonte, correspondentes as sucções de 1, 6, 10, 33, 100, 300, 500, 1.500 kPa, enquanto que, para os bancos de dados 5 e 6, a quantidade de umidades estimadas foi variável conforme a disponibilidade de umidades medidas (entre 4 a 9 sucções). Após a estimativa das umidades, essas foram comparadas com as umidades medidas, e então os indicadores estatísticos foram calculados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTUDO 1: RELAÇÕES ENTRE A RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA COM OS ATRIBUTOS DOS SOLOS

O número de horizontes, média, desvio padrão e valor mínimo e máximo dos atributos físicos, químicos e mineralógicos dos horizontes superficiais e subsuperficiais do solo encontram-se na **Tabela 19** e **Tabela 20**. Esses atributos foram correlacionados com a CC, PMP e AD na busca de variáveis que possam ser utilizadas na predição desses três atributos físicos.

Nos horizontes superficiais do solo, a CC média foi de $0,43 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, com limite inferior de $0,14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e superior de $0,77 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; enquanto que, o PMP médio foi de $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, com limite inferior de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, e superior de $0,56 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Nos horizontes subsuperficiais, a CC média foi de $0,47 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, com limite inferior de $0,13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e superior de $0,63 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; o PMP médio foi de $0,38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ com limite inferior de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e superior de $0,55 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

A diferença entre esses atributos de retenção resultou em um conteúdo médio de água disponível para as plantas nos horizontes superficiais igual a $0,13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, com limite inferior de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e superior de $0,25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, enquanto que, nos horizontes subsuperficiais, esses conteúdos foram respectivamente iguais a 0,10; 0,05 e $0,18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. A causa de variação desses três atributos físicos nos solos do Estado de Santa Catarina pode ser atribuída à atuação diferenciada dos fatores de formação do solo, os quais se desenvolveram sobre as diferentes formações litológicas em Santa Catarina (DNPM, 1987) e condições climáticas (PANDOLFO *et al.*, 2004). Quanto ao valor médio e a amplitude dos atributos/propriedades dos solos correlacionados com a CC, PMP e AD, esses parâmetros serão discutidos simultaneamente com a análise de correlação linear de Pearson.

Como os resultados observados na análise de correlação linear de Pearson sobrepõem-se com aqueles da análise de trilha, a comparação dos resultados observados

para essas duas análises com aqueles observados em outros estudos da literatura foram discutidos na parte final deste capítulo.

Tabela 19. Estatística descritiva de diferentes atributos do solo correlacionados com a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) em horizontes superficiais de alguns perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo/propriedade	Unidade	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
			Atributos	Físicos		
CC	cm ³ cm ⁻³	90	0,43	0,12	0,14	0,77
PMP	cm ³ cm ⁻³	90	0,30	0,11	0,05	0,56
AD	cm ³ cm ⁻³	90	0,13	0,03	0,06	0,25
Areia	g kg ⁻¹	90	281	272	17	973
Silte	g kg ⁻¹	90	289	136	12	581
Argila	g kg ⁻¹	90	430	226	15	789
Argila+Silte	g kg ⁻¹	90	719	272	27	983
Σ Areia MF+F	g kg ⁻¹	90	167	218	6	828
Σ Areia M+ G +MG	g kg ⁻¹	90	114	132	10	653
Areia muito grossa	g kg ⁻¹	90	27	67	0	377
Areia grossa	g kg ⁻¹	90	34	48	3	224
Areia média	g kg ⁻¹	90	53	56	3	303
Areia Fina	g kg ⁻¹	90	125	200	3	818
Areia muito fina	g kg ⁻¹	90	42	48	2	208
Argila em água	g kg ⁻¹	70	177	176	0	616
Grau de floculação	%	70	66	30	6	100
Densidade de partículas	g cm ⁻³	90	2,42	0,16	1,85	2,75
Densidade do solo	g cm ⁻³	90	1,12	0,23	0,52	1,74
Porosidade total	g cm ⁻³	90	0,66	0,08	0,44	0,93
KHS	mm h ⁻¹	89	206	139	3	577
Estabilidade agregados (DMG)	mm	90	4,4	1,5	0,3	6,0
			Atributos	Químicos		
Matéria orgânica	g kg ⁻¹	90	47	36	7	243
pH em água	-	86	5,0	0,6	4,2	6,3
pH em KCl	-	76	4,2	0,5	3,5	5,6
K	cmol _c dm ⁻³	84	0,4	0,6	0,0	3,6
Na	cmol _c dm ⁻³	52	0,2	0,3	0,0	1,2
Al	cmol _c dm ⁻³	86	2,2	1,9	0,0	9,0
H+Al	cmol _c dm ⁻³	81	10,6	7,4	1,0	41,4
Ca+Mg	cmol _c dm ⁻³	86	4,4	6,1	0,1	27,1
Soma de bases	cmol _c dm ⁻³	84	5,0	6,7	0,3	30,9
CTC efetiva	cmol _c dm ⁻³	84	7,2	6,0	0,9	31,2
Saturação de Bases	%	79	30	29	2	94
Saturação Al	cmol _c dm ⁻³	84	46	32	0	97
CTC pH 7	cmol _c dm ⁻³	79	15,8	7,8	2,1	47,2
Fósforo	mg dm ⁻³	30	2,7	3,4	1,0	18,6
			Atributos Mineralógicos			
Teor de SiO ₂	g kg ⁻¹	30	225	56	18	293
Teor de Al ₂ O ₂	g kg ⁻¹	30	171	50	17	286
Teor de Fe ₂ O ₃	g kg ⁻¹	30	208	68	7	409
Teor de TiO ₂	g kg ⁻¹	3	41	34	1	62
Relação Ki	-	30	2,3	0,5	1,5	3,1
Relação Kr	-	30	1,3	0,2	0,8	1,7
Atividade da argila	cmol _c kg ⁻¹	79	39,9	32,0	9,3	197,4
Atividade Argila (COT)	cmol _c kg ⁻¹	60	15,1	17,2	0,7	83,1
			Outros	Atributos		
Altitude	m	90	694	391	19	1.373

Tabela 20. Estatística descritiva de diferentes atributos do solo correlacionados com a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) em horizontes subsuperficiais de alguns perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo/propriedade	Unidade	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
			Atributos	Físicos		
CC	cm ³ cm ⁻³	110	0,47	0,11	0,13	0,63
PMP	cm ³ cm ⁻³	110	0,38	0,11	0,06	0,55
AD	cm ³ cm ⁻³	110	0,10	0,02	0,05	0,18
Areia	g kg ⁻¹	110	232	242	11	950
Silte	g kg ⁻¹	110	216	95	20	516
Argila	g kg ⁻¹	110	553	212	22	841
Argila+Silte	g kg ⁻¹	110	768	242	50	989
Σ Areia MF+F	g kg ⁻¹	110	147	205	5	884
Σ Areia M+ G +MG	g kg ⁻¹	110	85	106	6	590
Areia muito grossa	g kg ⁻¹	110	24	57	0	362
Areia grossa	g kg ⁻¹	110	24	34	0	164
Areia média	g kg ⁻¹	110	37	43	2	227
Areia Fina	g kg ⁻¹	110	111	197	2	873
Areia muito fina	g kg ⁻¹	110	36	35	2	199
Argila em água	g kg ⁻¹	74	31	73	0	300
Grau de flocculação	%	74	94	16	25	100
Densidade de partículas	g cm ⁻³	110	2,46	0,13	2,17	2,80
Densidade do solo	g cm ⁻³	110	1,22	0,16	0,91	1,64
Porosidade total	g cm ⁻³	110	0,64	0,06	0,49	0,74
KHS	mm h ⁻¹	110	120	97	2	495
Estabilidade agregados (DMG)	mm	110	3,6	1,4	0,3	5,7
			Atributos	Químicos		
Matéria orgânica	g kg ⁻¹	110	17	9	3	41
pH em água	-	109	5,0	0,6	4,2	7,1
pH em KCl	-	94	4,2	0,4	3,5	5,7
K	cmol _c dm ⁻³	104	0,2	0,5	0,0	4,1
Na	cmol _c dm ⁻³	61	0,1	0,3	0,0	1,6
Al	cmol _c dm ⁻³	109	2,4	2,1	0,0	8,4
H+Al	cmol _c dm ⁻³	102	7,0	3,3	0,9	14,6
Ca+Mg	cmol _c dm ⁻³	109	3,1	6,0	0,0	36,0
Soma de bases	cmol _c dm ⁻³	104	3,5	6,6	0,1	39,8
CTC efetiva	cmol _c dm ⁻³	104	5,9	6,3	0,7	40,4
Saturação de Bases	%	97	25	28	1	95
Saturação Al	cmol _c dm ⁻³	104	57	32	0	98
CTC pH 7	cmol _c dm ⁻³	97	10,4	6,0	2,2	41,8
Fósforo	mg dm ⁻³	29	2,6	3,9	1,0	16,0
			Atributos Mineralógicos			
Teor de SiO ₂	g kg ⁻¹	51	241	74	44	400
Teor de Al ₂ O ₂	g kg ⁻¹	51	237	253	116	1.999
Teor de Fe ₂ O ₃	g kg ⁻¹	51	167	44	72	264
Teor de TiO ₂	g kg ⁻¹	20	39	13	11	66
Relação Ki	-	52	2,4	2,2	0,2	14,4
Relação Kr	-	51	1,3	0,3	0,1	2,0
Atividade da argila	cmol _c kg ⁻¹	97	19,1	15,6	5,9	113,2
Atividade Argila (COT)	cmol _c kg ⁻¹	95	12,1	14,3	0,1	84,1
			Outros	Atributos		
Altitude	m	110	603	401	19	1.372

4.1.1 Correlações entre CC, PMP e AD e os demais atributos do solo

A CC, PMP e AD tiveram altos coeficientes de correlação linear de Pearson com algumas propriedades e/ou atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo. A CC e o PMP tiveram altos coeficientes de correlação com os mesmos atributos, pois o coeficiente de correlação entre essas duas variáveis foi de 0,96 no horizonte superficial e de 0,98 no horizonte subsuperficial, o que possibilitou discutir esses dois atributos em conjunto. Entretanto, o conteúdo de água disponível difere desses dois atributos, pois se correlacionou com um menor número de atributos/propriedades do solo.

Granulometria

O teor médio de argila nos horizontes superficiais dos solos amostrados foi de 430 g kg^{-1} , variando de 15 a 789 g kg^{-1} (**Tabela 19**), enquanto que nos horizontes subsuperficiais esses teores foram respectivamente iguais a 553, 22 e 841 g kg^{-1} (**Tabela 20**). O teor médio de silte nos horizontes superficiais dos solos amostrados foi de 289 g kg^{-1} , variando de 12 a 581 g kg^{-1} , enquanto que nos horizontes subsuperficiais esses teores foram respectivamente iguais a 216, 20 e 516 g kg^{-1} . O teor médio de areia foi de 272 g kg^{-1} , variando de 17 a 973 g kg^{-1} , enquanto que nos horizontes subsuperficiais esses teores foram respectivamente iguais a 232, 11 e 950 g kg^{-1} . A fração areia foi dividida em duas e cinco classes e a estatística descritiva desses atributos estão descritas na **Tabela 19** e **Tabela 20**. Em relação aos atributos físicos relacionados com as frações granulométricas do solo, a CC e o PMP nos horizontes superficiais e subsuperficiais se correlacionaram negativamente com algumas frações da areia, e positivamente com a fração silte e/ou argila (**Tabela 21** e **Tabela 22**).

Comparando-se as duas frações granulométricas de menor diâmetro do solo, a fração argila teve maior coeficiente de correlação positivo com a CC e com o PMP em relação à fração silte. A divisão da areia em duas ou cinco classes não resultou em melhoria no coeficiente de correlação em relação ao coeficiente obtido entre a fração areia total com a CC e com o PMP para os dois horizontes. Ainda, observou-se que o coeficiente de correlação em valor absoluto obtido entre a fração areia total com a CC e com o PMP foi semelhante ao coeficiente de correlação obtido entre soma das frações argila+silte com a CC e com o PMP para os dois horizontes, o qual foi negativo com a fração areia total e positivo com a fração silte+argila.

A separação da areia em cinco frações, usando a classificação da USDA (1975), indicou que o aumento da fração areia fina no solo teve maior efeito sobre a redução da CC e do PMP para ambos os horizontes do solo, em comparação as demais frações de areia. O segundo maior coeficiente, entre as cinco frações de areia, foi observado para o teor de areia média. Dividindo-se a fração areia em apenas duas classes, obteve-se maior coeficiente de correlação negativo entre a fração areia fina (0,053 até 0,25 mm) com a CC e com o PMP, em comparação com a fração areia grossa (0,25 até 2,0 mm).

Os maiores efeitos da areia fina quando a fração areia foi dividida em cinco classes e da areia MF+F quando a fração areia foi dividida em duas classes pode estar associada ao maior teor dessas duas frações em relação às demais frações de areia (**Tabela 19** e **Tabela 20**), influenciando a retenção de água mais significativamente.

Quanto a AD foram observados menores coeficientes de correlação, em valor absoluto, entre as frações granulométricas do solo, em comparação aos coeficientes observados para a CC e PMP, ou seja, apesar de coeficientes de correlação significativos estatisticamente, ocorre uma grande variabilidade na AD para solos com uma distribuição granulométrica semelhante.

Nos horizontes superficiais, o maior coeficiente de correlação positivo foi observado entre a AD e o teor de silte ($r = 0,44$), e também com o teor de areia muito fina ($r = 0,27$), ou seja, solos com maiores teores de silte e/ou de areia muito fina tiveram maior AD.

Para os horizontes subsuperficiais, os maiores coeficientes de correlação positivos foram observados entre a AD e os teores de areia total ($r = 0,20$) e de areia fina+muito fina ($r = 0,21$), enquanto que, os teores de argila ($r = -0,30$) e argila + silte ($r = -0,20$) se correlacionaram negativamente com a AD. Contudo, devido aos pequenos coeficientes observados conclui-se que houve grande dispersão da AD em relação ao aumento dos teores dessas frações no solo.

O teor médio de argila dispersa nos horizontes superficiais do solo foi de 177 g kg^{-1} , variando de 0 a 616 g kg^{-1} (**Tabela 19**), enquanto que nos horizontes subsuperficiais esses teores foram respectivamente iguais a 31, zero e 300 g kg^{-1} (**Tabela 20**). O teor médio do grau de floculação nos horizontes superficiais do solo foi de 66%, variando de 6 a 100 %, enquanto que nos horizontes subsuperficiais esses percentuais foram respectivamente iguais a 94, 25 e 100 %.

Tabela 21. Índice de correlação linear de Pearson (r) entre diferentes atributos do solo com a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) em horizontes superficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo	Número de horizontes	Capacidade de Campo	Ponto de murcha permanente	Conteúdo de Água disponível
		Atributos	Físicos	
CC	90	-	0.96**	0.51**
PMP	90	0.96**(1)	-	0.25*
AD	90	0.51**	0.25*	-
Areia	90	-0.75**	-0.80**	-0.12
Silte	90	0.53**	0.46**	0.44**
Argila	90	0.58**	0.69**	-0.12
Argila+Silte	90	0.75**	0.80**	0.12
Σ Areia MF+F	90	-0.70**	-0.76**	-0.08
Σ Areia M+ G +MG	90	-0.38**	-0.38**	-0.13
Areia muito grossa	90	-0.21*	-0.20	-0.11
Areia grossa	90	-0.17	-0.17	-0.05
Areia média	90	-0.62**	-0.64**	-0.16
Areia Fina	90	-0.71**	-0.75**	-0.15
Areia muito fina	90	-0.24*	-0.36**	0.27**
Argila em água	70	0.03	0.10	-0.16
Grau de floculação	24	0.02	0.16	-0.36
Densidade de partículas	90	-0.37**	-0.27**	-0.47**
Densidade do solo	90	-0.62**	-0.58**	-0.39**
Porosidade total	90	0.65**	0.60**	0.43**
KHS	89	-0.41**	-0.37**	-0.27*
Estabilidade agregados (DMG)	90	0.49**	0.49**	0.18
		Atributos	Químicos	
Matéria orgânica	90	0.67**	0.55**	0.63**
pH em água	86	-0.25*	-0.27*	-0.04
pH em KCl	76	-0.05	-0.09	0.09
K	84	-0.08	-0.11	0.06
Na	52	-0.28*	-0.36**	0.06
Al	86	0.49**	0.46**	0.29**
H+Al	81	0.71**	0.58**	0.52**
Ca+Mg	86	-0.07	-0.06	-0.02
Soma de bases	84	-0.08	-0.08	0.00
CTC efetiva	84	0.08	0.06	0.09
Saturação de Bases	79	-0.33**	-0.32**	-0.13
Saturação Al	84	0.35**	0.34**	0.16
CTC pH 7	79	0.50**	0.38**	0.48**
Fósforo	30	-0.34	-0.39*	-0.02
		Atributos	Mineralógicos	
Teor de SiO ₂	30	-0.28	0.00	-0.60**
Teor de Al ₂ O ₃	30	-0.12	0.13	-0.51**
Teor de Fe ₂ O ₃	30	-0.66**	-0.53**	-0.34
Teor de TiO ₂	3	-1.00	0.79	-0.99
Relação Ki	30	-0.28	-0.23	-0.12
Relação Kr	30	0.28	0.27	0.04
Atividade da argila	79	0.24*	0.06	0.53**
Atividade Argila (-COT)	60	-0.35**	-0.41**	0.15
		Outros	Atributos	
Altitude	90	0,70**	0,66**	0,39**

(1) Teste H₀: |r| = zero, quando * = significativo (0,01 < p < 0,05) e ** = significativo (p < 0,01).

Tabela 22. Índice de correlação linear de Pearson (r) entre diferentes atributos do solo com a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) em horizontes subsuperficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo	Número de horizontes	Capacidade de Campo	Ponto de murcha permanente	Conteúdo de Água disponível
		Atributos	Físicos	
CC	110	-	0,98**	-0,05
PMP	110	0,98** ⁽¹⁾	-	-0,25**
AD	110	-0,05	-0,25**	-
Areia	110	-0,84**	-0,86**	0,20*
Silte	110	0,40**	0,35**	0,16
Argila	110	0,78**	0,82**	-0,30**
Argila+Silte	110	0,84**	0,86**	-0,20*
Σ Areia MF+F	110	-0,79**	-0,80**	0,21*
Σ Areia M+ G +MG	110	-0,39**	-0,39**	0,04
Areia muito grossa	110	-0,21*	-0,21*	0,03
Areia grossa	110	-0,16	-0,17	0,06
Areia média	110	-0,67**	-0,65**	0,01
Areia Fina	110	-0,79**	-0,80**	0,18
Areia muito fina	110	-0,17	-0,21*	0,19
Argila em água	74	-0,13	-0,18	0,15
Grau de flocculação	62	0,24	0,30*	-0,22
Densidade de partículas	110	-0,21*	-0,19*	-0,03
Densidade do solo	110	-0,61**	-0,56**	-0,11
Porosidade total	110	0,76**	0,72**	0,06
KHS	110	-0,47**	-0,50**	0,14
Estabilidade agregados (DMG)	110	0,44**	0,43**	-0,03
		Atributos	Químicos	
Matéria orgânica	110	0,35**	0,31**	0,16
pH em água	109	-0,19	-0,20*	0,06
pH em KCl	94	0,23*	0,17	0,10
K	104	-0,01	-0,01	0,04
Na	61	-0,30*	-0,33*	0,10
Al	109	0,28**	0,30**	-0,11
H+Al	102	0,16	0,14	0,04
Ca+Mg	109	0,10	0,09	0,02
Soma de bases	104	0,08	0,07	0,03
CTC efetiva	104	0,19	0,18	-0,01
Saturação de Bases	97	0,08	0,05	0,08
Saturação Al	104	0,20*	0,23*	-0,15
CTC pH 7	97	0,15	0,11	0,06
Fósforo	29	-0,64**	-0,65**	0,23
		Atributos	Mineralógicos	
Teor de SiO ₂	51	0,19	0,23	-0,15
Teor de Al ₂ O ₃	51	0,11	0,12	-0,04
Teor de Fe ₂ O ₃	51	-0,23	-0,24	0,11
Teor de TiO ₂	20	-0,27	-0,12	-0,21
Relação Ki	52	-0,37**	-0,27*	-0,19
Relação Kr	51	0,12	0,17	-0,15
Atividade da argila	97	-0,14	-0,20*	0,19
Atividade Argila (-COT)	95	-0,03	-0,06	0,03
		Outros	Atributos	
Altitude	110	0,47**	0,44**	0,04

⁽¹⁾ Teste H₀: |r| = zero, quando * = significativo (0,01 < p < 0,05) e ** = significativo (p < 0,01).

Em relação a esses dois atributos do solo foi observado um coeficiente de correlação significativo ($r = 0,30$) apenas entre o PMP nos horizontes superficiais com o grau de flocculação, advertindo-se que, o número de horizontes correlacionados foi menor do que o total de horizontes avaliados, pois apenas 70 horizontes superficiais e 74 horizontes dos subsuperficiais possuíam o teor de argila dispersa e o grau de flocculação no banco de dados.

Densidade do solo e de partículas

A densidade média do solo nos horizontes superficiais do solo foi de $1,12 \text{ g cm}^{-3}$, variando de $0,52$ a $1,74 \text{ g cm}^{-3}$ (**Tabela 19**), enquanto que nos horizontes subsuperficiais esses valores foram respectivamente iguais a $1,22$; $0,91$ e $1,64 \text{ g cm}^{-3}$ (**Tabela 20**). A densidade média de partículas dos horizontes superficiais dos solos amostrados foi de $2,42 \text{ g cm}^{-3}$, variando de $1,85$ a $2,75 \text{ g cm}^{-3}$, enquanto que nos horizontes subsuperficiais essas densidades foram respectivamente iguais a $2,46$; $2,17$ e $2,80 \text{ g cm}^{-3}$.

A densidade do solo também se correlacionou negativamente com a CC e PMP em ambos os horizontes, com coeficientes de correlação ao redor de $-0,61$ para a CC e de $-0,57$ para o PMP. A densidade de partículas do solo também correlacionou-se negativamente com a CC e com o PMP, especialmente nos horizontes superficiais do solo. Entretanto, a redução da CC e PMP com o aumento na densidade de partículas teve uma alta variabilidade, pois o “ r ” variou entre $-0,19$ até $-0,37$. Comparando-se as duas medidas de densidade, a densidade do solo teve maiores coeficientes de correlação absolutos com a CC e PMP.

A AD correlacionou-se com a densidade de partículas e densidade do solo apenas nos horizontes superficiais, observando-se uma alta variabilidade na AD entre solos com mesma densidade de partículas ou do solo, pois o “ r ” foi igual a $-0,47$ e $-0,39$, respectivamente.

Porosidade Total

A porosidade total média do solo nos horizontes superficiais do solo foi de $0,66 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, variando de $0,44$ a $0,93 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, (**Tabela 19**), enquanto que nos horizontes subsuperficiais foram respectivamente iguais a $0,64$, $0,49$ e $0,74 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (**Tabela 20**).

A porosidade total (PT) correlacionou-se com a CC e com PMP em ambos os horizontes, com maiores coeficientes nos horizontes superficiais. Dentre os dois atributos, o coeficiente de correlação foi aproximadamente de 0,05 unidades maior entre a PT e a CC em ambos os horizontes, em comparação aos coeficientes observados no PMP. A provável causa dessa maior correlação com a CC deve-se a menor diferença entre as sucções na PT (0 kPa) e na CC (10 kPa), em relação a sucção aplicada no PMP (1.500 kPa).

O conteúdo de água disponível correlacionou-se com a PT apenas nos horizontes superficiais ($r = 0,43$), observando-se um coeficiente de correlação menor entre a AD com a PT, do que aqueles observados entre a PT com a CC e com o PMP.

Condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica saturada média do solo, determinada segundo GUBIANI *et al.* (2010), foi de 206 mm h^{-1} , variando de 3 a 577 mm h^{-1} nos horizontes superficiais do solo (**Tabela 19**), enquanto que nos horizontes subsuperficiais a condutividade foi respectivamente 110, 2 e 195 mm h^{-1} (**Tabela 20**).

A condutividade hidráulica saturada (KHS) teve coeficientes de correlação negativos com a CC e com o PMP em ambos os horizontes, com maiores valores nos horizontes subsuperficiais. Apesar de significativos, nenhum dos quatro coeficientes foi superior ao $|-0,50|$, indicando alta variabilidade da KHS para solos com CC e PMP semelhantes. Para a AD, apenas nos horizontes superficiais do solo observou-se correlação negativa desse atributo com a KHS. Porém, o coeficiente foi pequeno, o que indica uma alta variabilidade na relação desses dois atributos.

Estabilidade de agregados

A estabilidade de agregados, expressa pelo diâmetro médio geométrico (DMG), teve um tamanho médio igual a 4,4 mm, variando de 0,3 a 6,0 mm nos horizontes superficiais do solo (**Tabela 19**), enquanto que nos horizontes subsuperficiais esses diâmetros foram respectivamente iguais a 3,6; 0,2 e 5,7 mm (**Tabela 20**).

A estabilidade de agregados (DMG) correlacionou-se com o CC e com o PMP em ambos os horizontes, com maiores coeficientes absolutos nos horizontes subsuperficiais. Apesar de significativos, os quatro coeficientes variaram entre 0,43 até 0,49 indicando elevada variabilidade da CC e PMP entre horizontes com mesmo DMG.

Para a AD, não se observou correlação desse atributo com o DMG nos horizontes superficiais e subsuperficiais do solo.

Matéria orgânica

O teor de matéria orgânica do solo nos horizontes superficiais do solo foi de 47 g kg^{-1} , variando de 7 a 243 g kg^{-1} (**Tabela 19**), enquanto que nos horizontes subsuperficiais esses teores foram respectivamente iguais a 17, 3 e 41 g kg^{-1} (**Tabela 20**).

O teor de matéria orgânica (MO) correlacionou-se com o CC e com PMP em ambos os horizontes. No entanto, nos horizontes superficiais foram observados maiores coeficientes em relação aos horizontes subsuperficiais, especialmente para a CC ($r = 0,67$). O maior efeito do teor de matéria orgânica nos horizontes superficiais é atribuído aos maiores teores e amplitude deste atributo em comparação aos observados nos horizontes subsuperficiais.

Para a AD, o maior coeficiente de correlação foi observado entre esse atributo com o teor de matéria orgânica do solo ($r = 0,63$) dentre todas as variáveis analisadas, ou seja, o aumento do teor de matéria orgânica do solo resultou no aumento da disponibilidade de água as plantas. Nos horizontes subsuperficiais do solo, o efeito do teor de MO não foi observado, devido, provavelmente, à pequena amplitude e aos menores teores de MO nesses horizontes.

Atributos químicos do solo

O número de amostras, média, desvio padrão, valores mínimos e máximos dos atributos químicos do solo encontram-se disponíveis na **Tabela 19** e **Tabela 20**. Como os fatores de formação do solo que ocorreram no Estado de Santa Catarina favoreceram a formação de solos com baixo percentual de argilominerais do tipo 2:1 expansivos e altos teores de matéria orgânica, especialmente nos solos existentes na região central e no oeste do Estado de SC (ALMEIDA, KÄMPF e ALMEIDA, 1997; ALMEIDA, MAÇANEIRO e KLAMT, 2000; CORRÊA, 2003; EMBRAPA & EPAGRI, 2008; PAES SOBRINHO, ALMEIDA e ERHART, 2009; BRINGHENTI, 2010; TESKE, 2010), os solos dessas regiões têm predominância de classes texturais que variam de franca até muito argilosa, com baixo pH, altos teores de Al e de H+AL, e baixa saturação por bases.

A CC e o PMP tiveram coeficientes de correlação significativos com alguns atributos químicos do solo. No entanto, a maioria desses coeficientes de correlação significativos ocorre indiretamente, devido aos efeitos da mineralogia da fração argila do solo e do teor de matéria orgânica sobre os atributos químicos do solo. Essas relações justificam os coeficientes de correlação significativos observados nos horizontes superficiais para a CC e o PMP com os seguintes atributos químicos: pH em água, teores trocáveis de Na^+ e Al^{3+} ; teor de H^+Al , teor de P trocável, saturação por bases e por Al^{3+} , e a CTC do solo a pH 7.

Embora esses coeficientes de correlação tenham sido significativos, o teor de H^+Al foi o único atributo químico que se correlacionou com coeficientes acima de 0,50 com a CC e com o PMP, indicando que ele pode ser utilizado como variável preditora da CC e do PMP em estudos futuros para criação de FPTs nos solos de Santa Catarina. Contudo, o teor de H^+Al deve ser utilizado somente em solos sob vegetação nativa, uso atual predominante nos solos avaliados nesse estudo, pois, os solos sob ação antrópica têm geralmente sua acidez potencial diminuída nos horizontes superficiais devido aos efeitos da calagem no solo. O efeito da calagem do solo pode ser desconsiderado para a CTC a pH 7 do solo, visto que, essa é uma propriedade do solo e não se altera pela adição de corretivos da acidez do solo. A CTC a pH 7 também teve elevados coeficientes de correlação com a retenção de água no solo, principalmente com a CC, sendo que nos solos com maior CTC a retenção de água foi maior.

Nos horizontes subsuperficiais ocorre um menor efeito dos teores de MO do solo, pois ela diminui drasticamente em camadas mais profundas do solo (ALMEIDA, KÄMPF e ALMEIDA, 1997; ALMEIDA, MAÇANEIRO e KLAMT, 2000; CORRÊA, 2003; EMBRAPA & EPAGRI, 2008; PAES SOBRINHO, ALMEIDA e ERHART, 2009; BRINGHENTI, 2010; TESKE, 2010). Consequentemente, as variações nos atributos químicos do solo são mais dependentes da distribuição granulométrica e da mineralogia do solo.

Nesses horizontes, a quantidade de coeficientes de correlação significativos para a CC e o PMP com os atributos químicos do solo foi menor, em comparação ao observado para os horizontes superficiais. Houve relação significativa para o pH em água (somente PMP), pH em KCl (somente CC), teores de Na^+ , P e Al^{3+} e Saturação por Al^{3+} . Coeficiente de correlação maior do que 0,50 foi observado apenas entre os teores de P trocável com a CC e com o PMP. Entretanto, apenas 30 horizontes tinham

registrados os teores de P trocável, necessitando-se de mais estudos para reduzir a incerteza sobre a relação entre os teores de P no solo com a CC e PMP. Diferentemente dos horizontes superficiais, não houve correlação significativa com os teores de H+Al ou com a CTC a pH 7.

O conteúdo de água disponível foi correlacionado com os teores de Al, H+Al e a CTC potencial (pH 7) nos horizontes superficiais do solo, em consequência dos maiores efeitos dessas variáveis sobre a CC, em comparação ao PMP. Para os horizontes subsuperficiais não houve correlação significativa. Parte desta correlação pode ser devido à inter-correlação existente entre as variáveis. Através de um modelo de regressão múltipla foi constatado que os teores de argila, silte e matéria orgânica explicaram 62, 74 e 21 %, respectivamente, da variação total dos teores de Al, de H+Al e da CTC potencial. A variação não explicada, provavelmente, está relacionada com a mineralogia das frações mais finas do solo, as quais podem estar influenciando a disponibilidade de água.

Atributos mineralógicos do solo

O número de amostras, média, desvio padrão, valores mínimos e máximos dos atributos relacionados à mineralogia do solo: Teores de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, relação Ki; relação Kr, atividade da argila (EMBRAPA, 2006), atividade argila (descontado o efeito do COT - EMBRAPA, 1988) encontram-se disponíveis nas **Tabela 19 e Tabela 20**.

A CC e o PMP dos horizontes superficiais se correlacionaram negativamente com os teores de óxido de ferro (Fe₂O₃), contudo foram utilizados apenas 30 horizontes na obtenção desses coeficientes. Outro atributo com coeficiente de correlação negativo para a CC e PMP foi à atividade da argila (descontado o efeito do COT) (EMBRAPA, 1988). Entretanto, quando não é descontado o efeito do COT (EMBRAPA, 2006), houve correlação positiva com a CC.

Nos horizontes subsuperficiais observaram-se correlações negativas entre a relação Ki (relação entre os teores de SiO₂ /Al₂O₃) com a CC e com o PMP, e também correlações entre a atividade da argila desconsiderando-se o teor do COT com o PMP (EMBRAPA, 2006).

Na AD, observou-se correlação negativa entre esse atributo com os teores de SiO₂ e de Fe₂O₃ nos horizontes superficiais do solo, contudo foram utilizados apenas 30

horizontes na obtenção desses dois coeficientes. A AD também se correlacionou positivamente com a atividade da argila sem descontar o efeito do COT (EMBRAPA, 2006), indicando que solos com maior atividade da argila nesta metodologia disponibilizaram maior conteúdo de água para as plantas. Entretanto, como não houve correlação da AD nesses horizontes com a atividade da argila na metodologia que desconta o efeito do COT sobre a CTC do solo (EMBRAPA, 1988), pode-se afirmar que a disponibilidade de água aumentou devido ao teor de COT, e não pela atividade dos argilominerais.

No horizonte subsuperficial, nenhuma das variáveis mineralógicas analisadas se correlacionou com o teor de AD.

Altitude

A altitude média dos perfis de solo foi de 694 metros, variando de 19 a 1.373 m, (**Tabela 19** e **Tabela 20**), e ela se correlacionou com a capacidade de campo e com o ponto de murcha permanente nos horizontes superficiais e subsuperficiais. O maior coeficiente de correlação entre a altitude com a CC e com o PMP nos horizontes superficiais do solo pode ser atribuída ao efeito da altitude no acúmulo de MO do solo, o qual também teve alto coeficiente de correlação com esses dois atributos. Já, nos horizontes subsuperficiais, devido ao baixo teor de MO, predominam os efeitos dos atributos relacionados à distribuição granulométrica do solo sobre a CC e o PMP, onde solos de textura mais fina predominam nas maiores altitudes do Estado (ALMEIDA, KÄMPF e ALMEIDA, 1997; ALMEIDA, MAÇANEIRO e KLAMT, 2000; CORRÊA, 2003; EMBRAPA & EPAGRI, 2008; PAES SOBRINHO, ALMEIDA e ERHART, 2009; BRINGHENTI, 2010; TESKE, 2010).

4.1.2 Análise de Trilha entre a retenção e disponibilidade de água com os atributos físicos do solo

Análise de trilha para capacidade de campo e ponto de murcha permanente

Quando foi estimada a retenção de água na CC e no PMP com o primeiro modelo de regressão múltipla, que inclui o teor de argila, observou-se o mesmo coeficiente de determinação do que no segundo modelo, que inclui o teor de areia total nos horizontes superficiais e subsuperficiais (**Tabela 23**). Ambos tiveram boa

capacidade preditiva, pois conseguiram explicar entre 74 a 77 % da variação total existente na CC e no PMP dos horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos de Santa Catarina, o que ocorreu porque os teores de argila e de areia tiveram alto coeficiente de correlação entre si. Além disso, o coeficiente de correlação linear de Pearson da fração areia com a CC e com o PMP foi semelhante ao observado entre a fração argila+silte com esses dois atributos.

A divisão da areia em duas classes de tamanho não melhorou o coeficiente de determinação do terceiro modelo de regressão múltipla, os quais foram semelhantes aos obtidos nos modelos que incluíam apenas uma classe de areia ou de argila nos horizontes superficiais e subsuperficiais (**Tabela 23**). A estimativa da CC e do PMP foi um pouco melhor quando se utilizou o modelo de regressão múltipla que incluía cinco classes de tamanho na fração areia nos dois horizontes, constatado pelo pequeno acréscimo dos coeficientes de determinação, em comparação aos modelos que incluíam uma ou duas divisões da fração areia (**Tabela 23**). Portanto, quando for requerida alta precisão aconselha-se dividir a fração areia em cinco classes de tamanho.

Para avaliar os efeitos diretos e indiretos de cada variável, utilizadas nos modelos avaliados para estimar a CC e o PMP, foi realizada a análise de trilha para os quatro conjuntos de variáveis preditoras em cada horizonte de solo. Quando foi utilizado o teor de argila, juntamente com os teores de silte e de matéria orgânica e com a densidade de partículas no modelo primeiro regressão múltipla, observou-se maior efeito direto da fração argila (relação positiva) na predição da CC e do PMP em ambos os horizontes (**Tabela 24**). Além da argila, o teor de silte também teve um efeito direto (relação positiva) elevada com a CC e o PMP nos dois horizontes e o teor de MO teve um efeito direto (relação positiva) importante com a CC e o PMP nos horizontes superficiais do solo. Ou seja, solos com altos teores de argila, silte e MO retém maior conteúdo de água nas sucções de 10 e 1.500 kPa. Por outro lado, a densidade de partículas do solo teve pequeno efeito direto na predição da CC e do PMP, pois o efeito direto desse atributo foi menor em valor absoluto do que coeficiente de correlação, devido à influência da dos teores de MO e de argila sobre esse atributo no solo.

Tabela 23. Coeficientes de determinação obtidos entre regressões lineares múltiplas e utilizando diferentes efeitos fixos para predição da capacidade de campo (CC = 10 kPa), ponto de murcha permanente (PMP = 1.500 kPa), e conteúdo de água disponível (AD) em diferentes horizontes de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.

Modelo	Coeficiente de determinação (R ²)	
Horizonte	Superficial	Subsuperficial
CC <i>versus</i> Argila, silte, Dp e MO	0,76	0,74
PMP <i>versus</i> Argila, silte, Dp e MO	0,74	0,77
AD <i>versus</i> Argila, silte, Dp e MO	0,48	0,18
CC <i>versus</i> 1 fração de areia, silte, Dp e MO	0,76	0,74
PMP <i>versus</i> 1 fração de areia, silte, Dp e MO	0,74	0,77
AD <i>versus</i> 1 fração de areia, silte, Dp e MO	0,48	0,18
CC <i>versus</i> 2 frações de areia, silte, Dp e MO	0,76	0,74
PMP <i>versus</i> 2 frações de areia, silte, Dp e MO	0,74	0,77
AD <i>versus</i> 2 frações de areia, silte, Dp e MO	0,53	0,20
CC <i>versus</i> 5 frações de areia, silte, Dp e MO*	0,78	0,76
PMP <i>versus</i> 5 frações de areia, silte, Dp e MO	0,76	0,78
AD <i>versus</i> 5 frações de areia, silte, Dp e MO	0,63	0,27

*Dp = densidade de partículas, MO = matéria orgânica

No segundo modelo de regressão múltipla, a fração areia total teve maiores efeitos diretos (relação negativa) na predição da CC e do PMP em ambos os horizontes (**Tabela 25**). Além da areia total, a MO também teve um efeito direto (relação positiva) importante com a CC e o PMP nos horizontes superficiais. As demais variáveis preditoras desse modelo de regressão (teor de silte e densidade de partículas) tiveram pequenos efeitos diretos na predição da CC e do PMP.

Comparando os efeitos diretos sobre a CC e o PMP nos modelos de regressão múltipla que utilizam o teor de argila ou o teor de areia total como uma das variáveis preditoras, observou-se menor efeito direto da fração argila na predição da CC e do PMP em comparação ao efeito direto da areia. O menor efeito direto da argila sobre esses dois atributos de retenção de água resultou no aumento do efeito direto do teor de silte no primeiro modelo (**Tabela 24**), em comparação ao observado no segundo modelo (**Tabela 25**). Isso pode ter ocorrido devido ao maior coeficiente de correlação absoluto observado entre o teor de silte com o teor de areia total ($r = -0,56$), em relação àquele observado com o teor de argila ($r = 0,07$), ou seja, solos com altos teores de silte

tiveram baixos teores de areia, enquanto que, a relação entre os teores de silte e argila foi quase nula.

Tabela 24. Coeficientes de correlação considerando os efeitos diretos e indiretos, obtidos através da análise de trilha, dentre os teores de argila, silte e densidade de partículas (Dp) e matéria orgânica (MO), com a capacidade de campo (10 kPa), ponto de murcha permanente (1.500 kPa), e conteúdo de água disponível em horizontes superficiais e subsuperficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo	r	Efeito Direto	Efeito indireto via:			
			Argila	Silte	Dp	MO
Horizonte Superficial						
Capacidade de campo						
Argila	0,58	0,51	-	0,02	-0,01	0,06
Silte	0,53	0,30	0,04	-	0,02	0,17
Dp	-0,37	-0,10	0,04	-0,06	-	-0,25
MO	0,67	0,40	0,07	0,13	0,06	-
Ponto de murcha permanente						
Argila	0,69	0,64	-	0,02	-0,01	0,04
Silte	0,46	0,27	0,04	-	0,02	0,12
Dp	-0,27	-0,09	0,05	-0,06	-	-0,17
MO	0,55	0,28	0,09	0,12	0,06	-
Conteúdo de água disponível						
Argila	-0,12	-0,20	-	0,01	-0,01	0,07
Silte	0,44	0,21	-0,01	-	0,02	0,22
Dp	-0,47	-0,10	-0,02	-0,05	-	-0,31
MO	0,63	0,50	-0,03	0,09	0,06	-
Horizonte Subsuperficial						
Capacidade de campo						
Argila	0,78	0,75	-	0,04	0,01	-0,01
Silte	0,40	0,32	0,08	-	0,01	-0,01
Dp	-0,21	-0,15	-0,04	-0,02	-	0,00
MO	0,35	-0,03	0,26	0,12	0,00	-
Ponto de murcha permanente						
Argila	0,82	0,81	-	0,03	0,01	-0,03
Silte	0,35	0,28	0,09	-	0,01	-0,03
Dp	-0,19	-0,13	-0,04	-0,02	-	0,00
MO	0,31	-0,08	0,28	0,11	0,00	-
Conteúdo de água disponível						
Argila	-0,30	-0,40	-	0,01	0,00	0,09
Silte	0,16	0,10	-0,04	-	0,00	0,10
Dp	-0,03	-0,05	0,02	-0,01	-	0,00
MO	0,16	0,27	-0,14	0,04	0,00	-

* argila (< 2 µm) e silte (2-53 µm).

No terceiro modelo de regressão múltipla, que possuía duas classes de areia como algumas das variáveis preditoras, foram observados maiores efeitos diretos sobre a CC e o PMP com as variáveis: areia fina (MF+F) e areia grossa (M+G+MG) (relações negativas) para os dois horizontes e teor de MO (relação positiva) nos horizontes superficiais (**Tabela 26**). A comparação para os efeitos diretos das duas classes de areia

mostrou maior importância do aumento dos teores de areia MF+F sobre a redução da CC e do PMP. A baixa proporção da variância explicada diretamente pelos os teores de silte e densidade de partículas deve-se ao expressivo coeficiente de correlação observado entre essas duas variáveis com o somatório dos teores de areia fina e de MO do solo, os quais tiveram elevados efeitos diretos na predição da CC e do PMP.

Tabela 25. Coeficientes de correlação considerando os efeitos diretos e indiretos, obtidos através da análise de trilha, dentre os teores de areias (1 fração), silte e densidade de partículas (Dp) e matéria orgânica (MO), com a capacidade de campo (10 kPa), ponto de murcha permanente (1.500 kPa), e conteúdo de água disponível em horizontes superficiais e subsuperficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo	r	Efeito Direto	Efeito indireto via:		Dp	MO
			Areia	Silte		
Horizonte Superficial						
Capacidade de campo						
Areia	-0,75	-0,61	-	0,01	0,00	-0,14
Silte	0,53	-0,01	0,34	-	0,02	0,17
Dp	-0,37	-0,10	-0,02	0,00	-	-0,25
MO	0,67	0,40	0,21	0,00	0,06	-
Ponto de murcha permanente						
Areia	-0,80	-0,77	-	0,06	0,00	-0,09
Silte	0,46	-0,11	0,43	-	0,02	0,12
Dp	-0,27	-0,09	-0,03	0,02	-	-0,17
MO	0,55	0,28	0,26	-0,05	0,06	-
Conteúdo de água disponível						
Areia	-0,12	0,24	-	-0,19	0,00	-0,17
Silte	0,44	0,33	-0,14	-	0,02	0,22
Dp	-0,47	-0,10	0,01	-0,07	-	-0,31
MO	0,63	0,50	-0,08	0,15	0,06	-
Horizonte Subsuperficial						
Capacidade de campo						
Areia	-0,85	-0,86	-	0,01	-0,01	0,02
Silte	0,40	-0,01	0,42	-	0,01	-0,01
Dp	-0,21	-0,15	-0,06	0,00	-	0,00
MO	0,35	-0,03	0,39	-0,01	0,00	-
Ponto de murcha permanente						
Areia	-0,86	-0,93	-	0,04	-0,01	0,04
Silte	0,35	-0,08	0,45	-	0,01	-0,03
Dp	-0,19	-0,13	-0,06	0,00	-	0,00
MO	0,31	-0,08	0,42	-0,03	0,00	-
Conteúdo de água disponível						
Areia	0,20	0,46	-	-0,14	0,00	-0,12
Silte	0,16	0,28	-0,23	-	0,00	0,10
Dp	-0,03	-0,05	0,03	-0,02	-	0,00
MO	0,16	0,27	-0,21	0,11	0,00	-

*Areia (56 -2.000 µm) e silte (2-53 µm).

Tabela 26. Coeficientes de correlação considerando os efeitos diretos e indiretos, obtidos através da análise de trilha, dentre os teores de areias (2 frações), silte e densidade de partículas (Dp) e matéria orgânica (MO), com a capacidade de campo (10 kPa), ponto de murcha permanente (1.500 kPa), e conteúdo de água disponível em horizontes superficiais e subsuperficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo	r	Efeito Direto	Efeito indireto via:				
			Areia MF+F	Areia M+G+MG	Silte	Dp	MO
Horizonte Superficial							
Capacidade de campo							
Areia MF+F	-0,70	-0,47	-	-0,05	0,00	-0,02	-0,17
Areia M+G+MG	-0,38	-0,32	-0,07	-	0,00	0,02	-0,01
Silte	0,53	-0,01	0,25	0,09	-	0,02	0,18
Dp	-0,37	-0,10	-0,07	0,06	0,00	-	-0,25
MO	0,67	0,41	0,19	0,01	0,00	0,07	-
Ponto de murcha permanente							
Areia MF+F	-0,76	-0,64	-	-0,05	0,06	-0,01	-0,11
Areia M+G+MG	-0,39	-0,33	-0,10	-	0,03	0,02	0,00
Silte	0,46	-0,11	0,34	0,09	-	0,02	0,12
Dp	-0,27	-0,08	-0,10	0,06	0,02	-	-0,17
MO	0,55	0,28	0,26	0,01	-0,05	0,05	-
Contéudo de água disponível							
Areia MF+F	-0,09	0,35	-	-0,01	-0,18	-0,02	-0,22
Areia M+G+MG	-0,10	-0,08	0,06	-	-0,09	0,03	-0,01
Silte	0,44	0,34	-0,19	0,02	-	0,03	0,23
Dp	-0,47	-0,14	0,06	0,01	-0,07	-	-0,33
MO	0,63	0,54	-0,14	0,00	0,15	0,09	-
Horizonte Subsuperficial							
Capacidade de campo							
Areia MF+F	-0,79	-0,76	-	-0,04	0,01	-0,02	0,02
Areia M+G+MG	-0,40	-0,33	-0,09	-	0,00	0,01	0,00
Silte	0,40	-0,02	0,36	0,07	-	0,01	-0,02
Dp	-0,21	-0,14	-0,10	0,03	0,00	-	0,00
MO	0,35	-0,05	0,38	0,03	-0,01	0,00	-
Ponto de murcha permanente							
Areia MF+F	-0,80	-0,84	-	-0,04	0,04	-0,02	0,05
Areia M+G+MG	-0,41	-0,34	-0,10	-	0,02	0,01	0,01
Silte	0,35	-0,08	0,40	0,07	-	0,01	-0,04
Dp	-0,19	-0,12	-0,11	0,03	0,00	-	0,00
MO	0,31	-0,10	0,42	0,03	-0,03	0,00	-
Contéudo de água disponível							
Areia MF+F	0,20	0,49	-	0,01	-0,14	-0,01	-0,15
Areia M+G+MG	0,06	0,08	0,06	-	-0,06	0,01	-0,02
Silte	0,16	0,29	-0,23	-0,02	-	0,00	0,12
Dp	-0,03	-0,07	0,07	-0,01	-0,02	-	0,00
MO	0,16	0,30	-0,24	-0,01	0,11	0,00	-

* Areia M+G+MG = soma de areia média, grossa e muito grossa (250 -2.000 µm); Areia MF+F = soma de areia muito fina e fina (53-250 µm) e silte (2-53 µm).

No quarto modelo de regressão múltipla, que possuía cinco classes de areia como algumas das variáveis preditoras, foram observados maiores efeitos diretos sobre a CC e o PMP com as variáveis: teores de areia fina e muito grossa (relações negativas) para os dois horizontes e também com o teor de MO (relação positiva) no horizonte superficial (**Tabela 27** e **Tabela 28**). Nesse modelo, os teores de areia média, de areia fina e de silte e a densidade de partículas tiveram menor efeito direto na CC e PMP comparado ao efeito total (coeficiente de correlação). Isso ocorre porque existem efeitos indiretos de algumas variáveis preditoras sobre as outras, devido à existência de correlação entre elas. Por exemplo, o efeito total (coeficiente de correlação) do teor de silte na capacidade de campo ($r=0,53$) é bem maior do que quando se avalia seu efeito direto ($r \text{ direto} = 0,12$). Isso ocorre, devido aos elevados efeitos indiretos do teor de areia fina ($r \text{ indireto} = 0,31$) e de MO ($r \text{ indireto} = 0,22$) sobre a retenção de água. Solos com maior teor de silte tiveram maiores teores de MO ($r = 0,43$) e, como o teor MO do solo foi o constituinte que teve elevado efeito direto na retenção de água ($r \text{ direto} = 0,51$) ocorre redução do efeito direto do teor de silte.

Análise de trilha para o conteúdo de água disponível

Nos horizontes superficiais do solo, a comparação dos quatro modelos de regressão múltipla, através do coeficiente de determinação, mostrou que a estimativa do conteúdo de água disponível (AD) foi semelhante quando foi utilizado o teor de argila ou de areia como uma das variáveis preditoras ($R^2 = 0,48$). Para o terceiro modelo de regressão múltipla, que utilizava duas classes de areia como algumas das variáveis preditoras ($R^2 = 0,53$) observou-se um coeficiente de determinação cinco pontos percentuais maiores do que no emprego de modelos de regressão múltiplos com apenas o teor de areia total ou de argila, como uma das variáveis preditoras ($R^2 = 0,48$). Quando a fração areia foi dividida em cinco classes ($R^2 = 0,63$) foram observados acréscimos de 10 a 15 pontos percentuais no coeficiente de determinação em comparação aos modelos duas frações de areia ($R^2 = 0,53$), ou para modelos que utilizavam apenas o teor de areia total ($R^2 = 0,48$) ou de argila ($R^2 = 0,48$) como uma das variáveis preditoras (**Tabela 23**)

Tabela 27. Coeficientes de correlação considerando os efeitos diretos e indiretos, obtidos através da análise de trilha, dentre os teores de areias (5 frações), silte e densidade de partículas (Dp) e matéria orgânica (MO), com a capacidade de campo (10 kPa) e no ponto de murcha permanente (1.500 kPa), e conteúdo de água disponível em horizontes superficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo	r	Efeito	Efeito indireto via:							
	Total	Direto	Areia MG	Areia G	Areia M	Areia F	Areia MF	Silte	Dp	MO
Capacidade de campo										
Areia MG	-0,17	-0,41	-	0,12	-0,01	0,08	-0,01	0,01	0,00	0,06
Areia G	-0,11	0,14	-0,35	-	-0,04	0,08	0,00	0,01	0,00	0,07
Areia M	-0,61	-0,16	-0,04	0,03	-	-0,36	0,01	0,06	0,00	-0,15
Areia F	-0,70	-0,52	0,06	-0,02	-0,11	-	0,01	0,07	0,00	-0,19
Areia MF	-0,24	0,05	0,05	-0,01	-0,04	-0,14	-	-0,01	0,00	-0,14
Silte	0,53	-0,12	0,04	-0,01	0,08	0,31	0,00	-	0,00	0,22
Dp	-0,37	-0,01	0,07	-0,04	0,00	-0,10	0,00	0,02	-	-0,31
MO	0,67	0,51	-0,05	0,02	0,05	0,20	-0,01	-0,05	0,01	-
Ponto de murcha permanente										
Areia MG	-0,16	-0,39	-	0,07	-0,01	0,09	0,01	0,02	0,01	0,04
Areia G	-0,12	0,09	-0,34	-	-0,03	0,09	0,01	0,01	0,01	0,04
Areia M	-0,63	-0,14	-0,03	0,02	-	-0,44	-0,03	0,07	0,00	-0,09
Areia F	-0,74	-0,63	0,06	-0,01	-0,09	-	-0,03	0,09	-0,01	-0,12
Areia MF	-0,36	-0,10	0,05	-0,01	-0,03	-0,17	-	-0,01	0,00	-0,09
Silte	0,46	-0,16	0,04	0,00	0,06	0,38	-0,01	-	0,01	0,14
Dp	-0,27	-0,03	0,07	-0,03	0,00	-0,12	0,01	0,03	-	-0,20
MO	0,55	0,32	-0,04	0,01	0,04	0,24	0,03	-0,07	0,02	-
Conteúdo de água disponível										
Areia MG	-0,07	-0,21	-	0,16	-0,01	-0,02	-0,06	-0,01	-0,01	0,08
Areia G	0,00	0,19	-0,18	-	-0,03	-0,02	-0,04	-0,01	-0,01	0,10
Areia M	-0,15	-0,13	-0,02	0,05	-	0,10	0,12	-0,05	0,00	-0,22
Areia F	-0,16	0,15	0,03	-0,03	-0,09	-	0,12	-0,07	0,01	-0,28
Areia MF	0,28	0,45	0,03	-0,02	-0,03	0,04	-	0,01	0,00	-0,20
Silte	0,44	0,11	0,02	-0,01	0,06	-0,09	0,03	-	-0,01	0,32
Dp	-0,47	0,03	0,04	-0,06	0,00	0,03	-0,03	-0,02	-	-0,46
MO	0,63	0,74	-0,02	0,03	0,04	-0,06	-0,12	0,05	-0,02	-

* Areia MG = areia muito grossa (1.000-2.000 μm); Areia G = areia grossa (500-1.000 μm), Areia M = areia média (250-500 μm), Areia F = areia fina (106-250 μm); Areia MF = areia muito fina (53-106 μm) e silte (2-53 μm).

Tabela 28. Coeficientes de correlação considerando os efeitos diretos e indiretos, obtidos através da análise de trilha, dentre os teores de areias (5 frações), silte e densidade de partículas (Dp) e matéria orgânica (MO), com a capacidade de campo (10 kPa), ponto de murcha permanente (1.500 kPa), e conteúdo de água disponível em horizontes subsuperficiais de diferentes perfis de solo no Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo	r	Efeito	Efeito indireto via:						Dp	MO
		Direto	Areia MG*	Areia G	Areia M	Areia F	Areia MF	Silte		
Capacidade de campo										
Areia MG	-0,18	-0,42	-	0,18	-0,05	0,08	0,01	0,00	0,02	0,00
Areia G	-0,12	0,21	-0,35	-	-0,10	0,09	0,01	0,00	0,02	0,00
Areia M	-0,67	-0,29	-0,07	0,07	-	-0,39	-0,02	0,02	0,00	0,02
Areia F	-0,79	-0,64	0,05	-0,03	-0,18	-	-0,01	0,02	-0,02	0,02
Areia MF	-0,18	-0,12	0,04	-0,01	-0,04	-0,08	-	-0,01	0,03	0,01
Silte	0,40	-0,04	0,02	-0,01	0,12	0,34	-0,02	-	0,01	-0,02
Dp	-0,21	-0,13	0,05	-0,03	-0,01	-0,11	0,03	0,00	-	0,00
MO	0,35	-0,05	-0,03	0,01	0,10	0,30	0,03	-0,01	0,00	-
Ponto de murcha permanente										
Areia MG	-0,19	-0,37	-	0,10	-0,04	0,10	0,01	0,00	0,01	-0,01
Areia G	-0,14	0,12	-0,31	-	-0,07	0,11	0,01	0,00	0,02	-0,01
Areia M	-0,65	-0,21	-0,06	0,04	-	-0,46	-0,02	0,04	0,00	0,04
Areia F	-0,80	-0,75	0,05	-0,02	-0,13	-	-0,02	0,05	-0,02	0,05
Areia MF	-0,21	-0,15	0,04	-0,01	-0,03	-0,09	-	-0,02	0,03	0,02
Silte	0,35	-0,09	0,02	0,00	0,09	0,40	-0,03	-	0,01	-0,04
Dp	-0,19	-0,12	0,04	-0,02	-0,01	-0,13	0,03	0,01	-	0,00
MO	0,31	-0,10	-0,03	0,01	0,08	0,36	0,03	-0,04	0,00	-
Contéudo de água disponível										
Areia MG	0,05	-0,19	-	0,39	-0,06	-0,09	-0,02	-0,01	0,00	0,03
Areia G	0,09	0,47	-0,16	-	-0,13	-0,10	-0,01	-0,01	0,01	0,02
Areia M	0,01	-0,37	-0,03	0,16	-	0,42	0,03	-0,09	0,00	-0,11
Areia F	0,18	0,69	0,02	-0,07	-0,23	-	0,02	-0,12	-0,01	-0,14
Areia MF	0,19	0,18	0,02	-0,02	-0,06	0,09	-	0,04	0,01	-0,07
Silte	0,16	0,23	0,01	-0,01	0,15	-0,37	0,03	-	0,00	0,12
Dp	-0,03	-0,04	0,02	-0,07	-0,01	0,12	-0,04	-0,01	-	0,00
MO	0,16	0,31	-0,02	0,03	0,13	-0,33	-0,04	0,09	0,00	-

* Areia MG = areia muito grossa (1.000-2.000 μm); Areia G = areia grossa (500-1.000 μm), Areia M = areia média (250-500 μm), Areia F = areia fina (106-250 μm); Areia MF = areia muito fina (53-106 μm) e silte (2-53 μm).

Nos horizontes subsuperficiais, o coeficiente de determinação dos modelos de regressão múltipla também aumentou com a divisão da fração areia em classes, elevando-se em até nove pontos percentuais (**Tabela 23**). Todavia, os coeficientes de determinação dos modelos de regressão foram muito menores nos horizontes subsuperficiais em comparação aos obtidos nos horizontes superficiais, independentemente do número de classes de areia utilizadas no modelo de regressão múltipla ($0,18 \leq R^2 \leq 0,27$), o que pode estar relacionado ao baixo coeficiente de variação

da AD nesses horizontes, em comparação àqueles observados nos demais atributos do solo.

Para avaliar os efeitos diretos e indiretos de cada variável nos modelo de regressão múltipla utilizados para estimar o conteúdo de água disponível (**Tabela 23**) foi realizada a análise de trilha utilizando os quatro conjuntos de variáveis preditoras. No modelo de regressão múltipla que utiliza os teores de argila, silte e MO com a densidade de partículas foi observado maior efeito direto (relação positiva) do teor de MO (r direto = 0,50) na estimativa da AD dos horizontes superficiais (**Tabela 24**). Outros atributos com efeitos diretos importantes foram o teor de argila (relação negativa) e de silte (relação positiva) enquanto que, o atributo com menor efeito direto foi a densidade de partículas (relação negativa). Nos horizontes subsuperficiais, o maior efeito direto (relação negativa) sobre a estimativa da AD foi observado para o teor de argila do solo (r direto = -0,40), seguido do teor de MO, enquanto que, os menores efeitos diretos também foram observados com o teor de silte e a densidade de partículas.

A substituição do teor de argila pelo teor de areia no segundo modelo de regressão resultou em maior efeito direto do teor de MO sobre a disponibilidade de água (r direto = 0,50) para os horizontes superficiais do solo (**Tabela 25**), o qual teve valor idêntico ao efeito direto do MO observado no primeiro modelo. Outros atributos com efeitos diretos importantes foram o teor silte e de areia (relações positivas) e o atributo com menor efeito direto também foi a densidade de partículas (relação negativa). Comparando-se o efeito direto do teor de areia com aqueles observados para o teor de argila, observou-se maior efeito direto, em valor absoluto, do teor de areia; além disso, o efeito direto do teor de silte foi maior no primeiro modelo de regressão. Nos horizontes subsuperficiais, a substituição do teor de argila pelo teor de areia no segundo modelo de regressão resultou em maior efeito direto (relação positiva) do teor de areia sobre a estimativa da AD (r direto = 0,46), seguido dos teores de silte e de MO (relações positivas), e o menor efeito direto foi observado para a densidade de partículas (relação negativa).

A utilização de um modelo de regressão múltipla com duas classes de areia e com os teores de silte e de MO e a densidade de partículas como variáveis preditoras para estimar a AD resultou em maior efeito direto do teor de MO sobre a disponibilidade de água (r direto = 0,54) para os horizontes superficiais do solo (**Tabela 26**), o qual foi um pouco maior em comparação ao efeito direto do MO nos modelos que

utilizavam o teor de argila ou de areia como uma das variáveis preditoras. Outros atributos com efeitos diretos importantes foram o teor de areia fina ($\sum MF+F$) e de silte (relações positivas), e os atributos com menores efeitos diretos foram a densidade de partículas e o teor de areia grossa ($\sum M+G+MG$) (relações negativas). Nos horizontes subsuperficiais, o maior efeito direto (relação positiva) sobre a estimativa da AD foi observado para o teor de areia fina ($\sum MF+F$) do solo (r direto = 0,49), seguido do teor de MO e de silte (relações positivas) e os menores efeitos diretos foram observados para o teor de areia grossa ($\sum M+G+MG$) (relação positiva) e a densidade de partículas (relação negativa).

O aumento de duas para cinco classes de areia no modelo de regressão múltipla resultou em aumento do efeito direto da MO sobre a AD no horizonte superficial, elevando-se de 0,54 para 0,74 (**Tabela 27**). Além da MO, os teores de areia muito fina também tiveram elevados efeitos diretos positivos (r direto = 0,45) e os atributos: teores de areia muito grossa e de areia média (relações negativas) e também os teores de areia grossa, de areia fina e de silte (relações positivas) também tiveram efeitos diretos significativos, enquanto que a densidade de partículas teve efeito direto praticamente nulo nesse modelo de regressão. Nos horizontes subsuperficiais, o maior efeito direto (relação positiva) na predição da AD ocorreu com os teores de areia fina ($r = 0,69$) (**Tabela 28**). Outros atributos que também tiveram efeitos diretos elevados foram os teores de areia grossa, MO, silte e areia muito fina com relações positivas e também os teores de areia média e muito grossa com relação negativa, enquanto que, a densidade de partículas teve novamente efeito direto praticamente nulo.

Embora, a CC e o PMP tenham sido maiores em solos que possuem maiores teores de areia muito fina nos horizontes superficiais ou de areia fina nos horizontes subsuperficiais, houve correlação negativa dessas duas classes de areia com a MO nos diferentes horizontes ($r = -0,27$ e $-0,47$, respectivamente), ou seja, a maior disponibilidade de água ocorreu devido aos maiores teores dessas classes de areia em alguns solos, enquanto que em outros ocorreu devido aos maiores teores de MO do solo.

4.1.3 Discussão dos resultados observados pelas análises de correlação e de trilha

A CC e o PMP foram altamente dependentes da distribuição granulométrica e dos teores de MO do solo. Consequentemente, solos com textura mais fina ou com

maior teor de MO retêm maior conteúdo de água. Essas relações se encontram fortemente evidenciadas em estudos que relacionam a retenção de água com os atributos físicos do solo e já foram constatadas há varias décadas, pois VEIHMAYER e HENDRIKSON (1927) já observaram correlação entre esses atributos há 85 anos. Posteriormente vários estudos observaram esse efeito, principalmente após a década de 1980, quando vários estudos foram realizados para geração de FPTs com a finalidade de estimar a retenção de água no solo (RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON, 1982; de JONG, CAMPBELL e NICHOLAICHUK, 1983; WILLIAMS, 1983; ARRUDA, JÚLIO JR. e OLIVEIRA, 1987; VEREECKEN *et al.*, 1989; WÖSTEN, FINKE e JANSEN, 1995; RAJKAI *et al.*, 1996; GONÇALVES, PEREIRA e LEIJ, 1997; SCHEINOST, SINOWSKI e AUERSWALD, 1997b; MAYR e JARVIS, 1999).

A análise de trilha permitiu visualizar o efeito do teor de MO sobre a retenção de água no solo, a qual teve maior efeito para a CC em comparação ao PMP, pois o efeito direto da MO foi menor para o PMP em todos os modelos de regressão avaliados. A maior influência da MO sobre o aumento da CC em relação àquele do PMP também foi observada em alguns estudos, como aqueles realizados por: BOUYOUCOS (1939) comparando a adição de material orgânico decomposto misturado em diferentes classes de solos dos EUA; BISWAS e ALI (1969) comparando solos indianos de mesma classe textural e diferentes teores de MO; HUDSON (1994) utilizando a análise de regressão para diferentes classes de solos dos EUA e RAWLS *et al.* (2003) utilizando árvores de regressão e também o método de aprendizagem indutiva (GMDH) em um grande banco de dados de solos dos EUA. O maior efeito desse atributo sobre o aumento da CC, em relação ao aumento no PMP, resulta no aumento de disponibilidade de água para as plantas em solos com maior MO, o que foi observado principalmente nos horizontes superficiais dos solos de Santa Catarina, e também em estudos anteriores, como aqueles realizados por BOUYOUCOS (1939); BISWAS e ALI (1969); HUDSON (1994) e RAWLS *et al.* (2003). Outros autores, como EPEBINU e NWADIALO (1993) também observaram que a AD tem correlação com os teores de argila, silte e MO em solos da Nigéria, sendo a MO responsável por quase metade da variação na AD.

A comparação entre a análise de correlação e de trilha mostrou que os coeficientes de correlação entre o teor de MO com a CC e com PMP foram maiores do que os efeitos diretos da MO sobre esses atributos, e essa diferença foi menor nos horizontes superficiais do solo em relação aos subsuperficiais. Nos horizontes

superfícias, tanto o índice de correlação quanto o efeito direto foram positivos, enquanto que nos horizontes subsuperficiais, o coeficiente de correlação passou de positivo para um efeito direto com sinal negativo para todos os quatro modelos de regressão. Ou seja, o aumento da MO nos horizontes subsuperficiais resultou em pequena redução da retenção de água no solo, sendo mais expressiva no PMP em comparação a CC. A provável causa de diferença entre esses dois índices estatísticos deve-se aos elevados efeitos indiretos dos teores de argila e de silte sobre a retenção de água associados à MO, pois os solos com maior teor de MO também foram aqueles com maiores teores de argila e silte e, conseqüentemente, reteram maior conteúdo de água devido elevado efeito direto da argila e do silte sobre a retenção de água. O favorecimento do acúmulo de MO com o acréscimo da proporção da partículas com menor diâmetro no solo (argila + silte) foi observado em muitos estudos (FELLER e BEARE, 1997; TOGNON, DEMATTÊ e DEMATTÊ, 1998; JASTROW, AMONETTE e BAILEY, 2007), pois essa fração granulométrica dificulta a decomposição da matéria orgânica devido a sua capacidade de proteção química e física desse material (OADES, 1988; BALDOCK e SKJEMSTAD, 2000).

Ainda quanto aos efeitos diretos negativos da MO sobre a retenção de água nos horizontes subsuperficiais, esse pode estar relacionado ao aumento do volume de poros com diâmetro superior a 30 μm com o aumento da MO nesses horizontes, os quais se encontram naturalmente adensados pelo efeito da pressão dos horizontes superficiais, o que resultaria em uma pequena redução da CC e do PMP pelo efeito da melhor estrutura do solo.

O pequeno efeito direto negativo da densidade de partículas sobre a CC e PMP, em quase todos os modelos de regressão, pode estar associado à mineralogia dos solos, visto que o efeito da MO sobre a redução da densidade de partículas foi descontado devido ao uso da análise de trilha. O efeito da mineralogia pode ser decorrente efeito do aumento do teor de óxidos de ferro sobre a redução da retenção de água, em substituição à caulinita e a argilominerais do tipo 2:1 com hidróxi-Al entre camadas para solos com mesmo teor de argila e matéria orgânica. Isso porque, os óxidos de ferro possuem densidade de partículas mais elevada do que os argilominerais tipo 1:1 e 2:1 e retém menor conteúdo de água devido a melhor estruturação do solo, o que resultaria no efeito direto negativo da densidade de partículas sobre a CC e PMP. Outro indicativo que dá suporte teórico a essa afirmativa está relacionado ao coeficiente de correlação negativo

observado entre o teor de óxidos de ferro com a CC e com o PMP para os dois horizontes avaliados. Na literatura, não foram encontrados estudos sobre o efeito do teor de óxidos de ferro na retenção de água do solo, que justificassem esse efeito observado.

A divisão da fração em cinco classes indicou que o aumento do teor de areia grossa resulta no aumento da retenção de água no solo nos horizontes superficiais e subsuperficiais, pois esse atributo teve efeito direto positivo sobre a CC e o PMP na análise de trilha. Entretanto, esse efeito não ocorre no solo devido a influência das demais frações de areia no solo, que possuem efeito direto negativo, ou seja, os solos com maiores teores de areia grossa também possuem maiores teores das demais classes de areia, resultando em solos com menor CC e PMP.

Outra constatação importante foi que algumas classe de areia, principalmente as areias muito fina, fina e grossa, tiveram efeitos diretos positivos maiores do que a fração silte sobre a disponibilidade de água no solo para as plantas. Contudo, o efeito dessas frações sobre a disponibilidade de água é afetado pela demais frações do solo, e não se faz perceptível quando apenas o coeficiente de correlação linear de Pearson é analisado.

O uso da análise de trilha para avaliar os efeitos diretos e indiretos dos atributos/propriedades do solo sobre a retenção e disponibilidade de água é inexpressivo diante do número de estudos publicados com essa finalidade, o que dificulta a comparação dos valores observados neste estudo com aqueles que poderiam ser encontrados em solos de outros estados brasileiros, países e regiões. Na literatura nacional, o uso desse tipo de análise foi encontrado apenas no estudo realizado por REICHERT *et al.* (2009), enquanto que na literatura internacional foi encontrado apenas no estudo publicado por EBTISAM (2007).

A estimativa da retenção e disponibilidade de água em solos do Rio Grande do Sul foi realizada por REICHERT *et al.* (2009), que observaram maiores efeitos diretos dos teores de argila e silte sobre a CC e PMP em solos daquele Estado, enquanto que o teor de matéria orgânica teve pequeno efeito direto. A fração areia total ou a sua divisão em classes não foi avaliada, bem como, os horizontes em superficiais e subsuperficiais foram avaliados em um único conjunto de dados. Consequentemente, os resultados observados por esses autores se assemelham àqueles observados no primeiro modelo avaliado nos horizontes subsuperficiais dos solos de Santa Catarina, nos quais os teores de argila e de silte tiveram maiores efeitos diretos. Para a AD, os resultados obtidos pelos autores são um pouco diferentes, provavelmente devido à inclusão da densidade

do solo na análise de trilha, a qual teve os maiores efeitos diretos sobre a disponibilidade de água, seguida dos teores de silte. Nos solos de Santa Catarina, embora o silte também tenha tido efeito direto positivo sobre disponibilidade de água, os maiores efeitos diretos no aumento desse atributo foram observados pelo acréscimo no teor de MO em ambos os horizontes e na sua redução pelo aumento dos teores de argila do solo, principalmente nos horizontes subsuperficiais.

Quanto ao estudo publicado por EBTISAM (2007), os objetivos foram usar a análise de trilha para avaliar os efeitos de algumas propriedades físicas e químicas sobre a disponibilidade de água em algumas classes de solo afetados por elevada concentração de sais. Os autores concluíram que a fração mais fina do solo (argila+silte) teve maiores efeitos diretos sobre a disponibilidade de água em comparação às frações mais grosseiras e algumas propriedades químicas do solo. Entretanto, os efeitos diretos e indiretos são apresentados em módulo (não possuem sinais negativos), impossibilitando concluir se as propriedades avaliadas aumentam ou reduzem a disponibilidade de água no solo.

Em consequência da falta de estudos que utilizaram a análise de trilha, não foi possível averiguar se os efeitos das diferentes classes de areia sobre a retenção e disponibilidade de água, observados nestes estudo, ocorrem em solos de outras regiões.

4.1.4 Considerações finais

A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente dos solos de Santa Catarina são altamente dependentes da distribuição granulométrica e dos teores de matéria orgânica do solo, e os solos com textura mais fina e/ou com maior teor de matéria orgânica retêm maior conteúdo de água.

A matéria orgânica do solo é o principal atributo do solo que governa a disponibilidade de água para as plantas, principalmente nos horizontes superficiais de solos de Santa Catarina, e esse aumento ocorre porque a MO tem maior efeito sobre o aumento da capacidade de campo, em comparação ao observado para o ponto de murcha permanente.

Algumas classes de areia, principalmente a areia muito fina, fina e grossa, possuem maiores efeitos sobre disponibilidade de água no solo para as plantas do que a fração silte nos solos de Santa Catarina, mas esse efeito é perceptível apenas quando a análise

de trilha é utilizada, pois a relação entre essas classes de areia com os demais atributos físicos do solo que causam a redução da disponibilidade de água é inversa.

4.2 ESTUDO 2 - RETENÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA EM DIFERENTES AGRUPAMENTOS DE SOLOS

Os valores medidos de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e conteúdo de água disponível nas amostras que constituem a média dos níveis de cada um dos fatores de efeito fixos testados (agrupamentos), têm elevada variabilidade. Assim, foram destacadas as tendências, reunindo níveis de um fator que possuíam médias com maior semelhança estatística.

A CC e o PMP foram discutidos em conjunto, pois para a maioria dos agrupamentos testados (fatores de efeito fixo), a ordenação das médias em ordem decrescente de CC e do PMP resultou em uma ordenação muito próxima dos níveis, ou seja, o nível dos fatores fixos com maior CC também teve o maior PMP no mesmo horizonte. Isso ocorreu porque a CC e o PMP tiveram coeficiente de correlação linear de Pearson igual a 0,96 e 0,98, entre si, respectivamente para os horizontes superficiais e subsuperficiais, conforme discutido no Estudo 1. Todavia, a CC e o PMP dos horizontes superficiais foram discutidos separadamente dos horizontes subsuperficiais, pois a ordem de decréscimo da CC e do PMP dos níveis foi diferente entre esses horizontes.

A AD foi discutido separadamente, após a CC e o PMP em cada agrupamento, pois este atributo teve um baixo coeficiente de correlação com a CC e PMP, ou seja, solos com maiores CC ou PMP não tiveram os maiores AD, necessitando de considerações diferentes a respeito da disponibilidade de água no solo. Além disso, a AD no horizonte superficial foi discutida por primeiro, e na sequência fez-se a discussão da AD no horizonte subsuperficial, visto que, para a maioria dos efeitos fixos, houve diferenças na ordem dos níveis analisados entre os dois horizontes.

4.2.1 Retenção de água *versus* classe textural

O agrupamento dos horizontes por classes texturais semelhantes se mostrou importante no conhecimento da retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina. Nos horizontes superficiais houve maior semelhança estatística na CC e no PMP entre as classes texturais, devido à grande variabilidade da CC e do PMP nas repetições de um mesmo horizonte e entre horizontes com classe textural semelhante, aumentando o erro padrão (**Tabela 29**). Isso ocorreu porque a estrutura do solo é mais

afetada pelo tipo de cobertura e atividade biológica do solo nos horizontes superficiais em relação aqueles coletados em subsuperfície. Essa maior variância agrupou estatisticamente uma grande quantidade de classes texturais, considerando como iguais classes de solo com CC que diferiam em até $0,14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e PMP que diferiam em até $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Nos horizontes subsuperficiais, houve uma menor variabilidade da CC e do PMP, o que resultou numa maior diferenciação desses dois atributos em solos de classes texturais diferentes.

Nos horizontes superficiais, a CC foi maior em solos com classe textural nas quais predominam partículas com diâmetro inferior a $0,053 \text{ mm}$, englobando as classes argila, franco e suas variações, com CC variando entre $0,41$ a $0,55 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (**Tabela 29**). Capacidade de campo intermediária, igual a $0,26 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ocorreu em solos de textura franco arenosa. A menor CC, igual a $0,16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ocorreu em solos arenosos (classe areia). Para o PMP foi observado uma ordem em sua redução muito parecida com àquela observada para a CC, com pequenas variações na ordem das classes texturais, observando-se aumento do PMP em solos com maiores teores de argila+silte e redução do PMP com aumento dos teores de areia.

Nos horizontes subsuperficiais, as maiores CC e PMP ocorreram em horizontes com textura argilo siltosa, muito argilosa e argila (**Tabela 29**), todas com altos teores de argila e silte e MO (**Tabela 31**). CC e PMP intermediárias ocorreram em horizontes com textura franco argilosa, franco argilo arenosa e franca, os quais se caracterizam por maior equilíbrio na distribuição das três frações granulométricas. Menor CC e PMP ocorreram em solos com textura franco arenosa, areia franca e areia, nos quais predomina a fração areia. Faz-se importante destacar que a CC e o PMP diferem expressivamente entre algumas classes texturais do solo, pois a CC nos horizontes superficiais variou de $0,16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nos solos de textura arenosa a $0,54 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ naqueles de textura franco argilo siltosa, enquanto o PMP variou entre $0,07$ a $0,39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em solos dessas duas classes texturais. Nos horizontes subsuperficiais, a CC variou de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nos solos arenosos até $0,55 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nos solos de textura argila siltosa, e o PMP variou de $0,09$ até $0,43 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em solos dessas duas classes texturais. Essas diferenças resultam em uma amplitude de $0,29 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na CC e de $0,32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ no PMP nos horizontes superficiais e de $0,37 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na CC e $0,34 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ no PMP nos horizontes subsuperficiais.

Tabela 29. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados conforme a classes texturais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Classe Textural	CC	ep*	Classe Textural	PMP	ep
Horizonte Superficial					
Franco argilo siltoso	0,55 a**	0,08	Argila	0,39 a	0,02
Argila	0,52 a	0,03	Franco argilo siltoso	0,38 ab	0,06
Argilo siltosa	0,51 a	0,03	Muito argiloso	0,36 ab	0,02
Muito argiloso	0,48 a	0,02	Argilo siltosa	0,36 ab	0,03
Franco	0,46 a	0,04	Franco argiloso	0,31 b	0,02
Franco argiloso	0,46 a	0,03	Franco argilo arenoso	0,31 ab	0,05
Franco siltoso	0,41 a	0,05	Franco	0,30 b	0,03
Franco argilo arenoso	0,41 ab	0,06	Franco siltoso	0,28 b	0,04
Franco arenoso	0,26 bc	0,04	Franco arenoso	0,15 c	0,03
Areia	0,16 c	0,05	Areia	0,07 c	0,04
Horizonte Subsuperficial					
Argilo siltosa	0,56 a	0,06	Argilo siltosa	0,43 a	0,05
Muito argiloso	0,52 a	0,01	Muito argiloso	0,43 a	0,01
Argila	0,50 ab	0,01	Argila	0,41 a	0,01
Franco argiloso	0,42 c	0,02	Franco argiloso	0,31 b	0,02
Franco argilo arenoso	0,41 c	0,03	Franco argilo arenoso	0,31 b	0,03
Franco	0,39 bcd	0,06	Franco	0,26 bc	0,05
Franco arenoso	0,24 de	0,04	Franco arenoso	0,15 cd	0,04
Areia franca	0,22 de	0,06	Areia franca	0,10 d	0,05
Areia	0,19 e	0,03	Areia	0,09 d	0,03

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as classes em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

A AD teve maior amplitude nos horizontes superficiais ($0,08 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em relação aos subsuperficiais ($0,04 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$), devido ao seu maior limite superior de AD nos primeiros (**Tabela 30**). Analisando as classes texturais do solo nos horizontes superficiais, as maiores AD ocorreram em horizontes com distribuição das frações granulométricas com maiores teores de silte e também de MO em relação aos demais solos (**Tabela 31**), abrangendo solos de textura franco argilo siltosa, franca, franco argilosa e argila siltosa, com AD entre $0,15$ até $0,17 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. As AD intermediários ocorreram nas classes argilosa e muito argilosa, franco arenosa e franco argilo arenosa, com AD entre $0,10$ até $0,13 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. A menor AD ocorreu em solos com textura arenosa, com AD igual a $0,09 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Contudo, esta classe difere estatisticamente apenas dos horizontes com maiores conteúdos de AD. Em percentual, pode-se afirmar que os horizontes superficiais dos solos com textura franco argilo siltosa, franca, franco

argilosa e argila siltosa possuem aproximadamente 78 % a mais de AD em comparação aos solos de textura arenosa.

Para os horizontes subsuperficiais, a maioria das classes texturais teve AD semelhante entre si, entre 0,09 até 0,13 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, sendo que a AD diferiu somente entre os horizontes com textura argila siltosa e muito argilosa (0,13 e 0,09 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, respectivamente). Os maiores teores de matéria orgânica e a melhor estrutura do solo nos horizontes superficiais são os prováveis determinantes da maior disponibilidade de água observada nos horizontes superficiais em solos de textura média a argilosa localizados em Santa Catarina, em comparação com aquelas observadas nos horizontes subsuperficiais (aumento médio de 0,03 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$). Em percentual, pode-se afirmar que os horizontes superficiais dos solos com argila siltosa possuem aproximadamente 44 % a mais de AD em comparação aos solos de textura muito argilosa.

Tabela 30. Conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados conforme a classes texturais de solos no Estado de Santa Catarina, 2012.

Classe textural	AD	ep*	Classe textural	AD	ep		
Horizonte Superficial			Horizonte Subsuperficial				
Franco argilo siltoso	0,17	abc**	0,03	Franco	0,13	ab	0,02
Franco	0,16	a	0,01	Argila siltosa	0,13	a	0,02
Franco argiloso	0,15	ab	0,01	Areia franca	0,12	ab	0,02
Argilo siltosa	0,15	ab	0,01	Franco argiloso	0,11	ab	0,01
Franco siltoso	0,14	abcd	0,02	Franco argilo arenoso	0,11	ab	0,01
Argila	0,13	abcd	0,01	Argila	0,10	ab	0,00
Franco arenoso	0,12	bcd	0,02	Areia	0,10	ab	0,01
Muito argiloso	0,11	cd	0,01	Franco arenoso	0,09	ab	0,01
Franco argilo Arenoso	0,10	bcd	0,02	Muito argiloso	0,09	b	0,01
Areia	0,09	d	0,02	-			

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as classes em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

Tabela 31. Número de horizontes (n.), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para argila, silte, areia e matéria orgânica (MO) em solos agrupados por classe textural dos solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Classe textural	n.	Argila	ep*	Silte	ep	Areia	ep	MO	ep
Horizonte superficial									
Muito argiloso	30	682	13	257	17	62	18	43	12
Argila	13	491	16	303	21	206	21	53	14
Argila siltosa	6	430	19	448	25	122	26	69	17
Franco argilo siltoso	2	389	47	570	62	40	64	100	41
Franco argiloso	11	324	16	376	21	300	21	66	14
Franco argilo arenoso	2	285	34	213	44	501	45	38	29
Franco siltoso	5	228	27	535	36	237	37	48	24
Franco	7	220	21	374	28	405	29	74	19
Franco arenoso	9	147	24	106	31	747	32	16	21
Areia	5	37	27	20	36	943	37	12	24
Horizonte subsuperficial									
Muito argiloso	58	695	11	207	12	98	14	19	2
Argila	26	523	14	279	15	198	18	17	2
Argilo siltosa	1	435	57	516	61	49	73	40	7
Franco argiloso	8	341	23	306	25	353	30	16	2
Franco Argilo arenoso	7	294	28	174	30	532	36	17	3
Franco	1	267	57	494	61	239	73	21	7
Franco arenoso	2	174	40	116	43	711	52	14	5
Areia franca	1	85	57	28	61	887	73	5	7
Areia	6	35	33	26	35	939	42	7	3

* ep: erro padrão em g kg^{-1}

Assim, constatou-se que os horizontes superficiais de solos com altos teores de argila disponibilizam o mesmo conteúdo de água do que solos arenosos, e dentre as principais classes texturais dos solos do Estado de Santa Catarina, os solos com textura franca que possuem elevados teores de silte, argila e matéria orgânica, disponibilizam maior conteúdo de água para as plantas entre as sucções de 10 a 1.500 kPa. Para os horizontes subsuperficiais, pode-se afirmar que a classe textural do solo pouco altera sua disponibilidade de água nos solos de Santa Catarina. Para uma melhor visualização dos resultados observados para a CC, PMP e AD foram inseridas figuras com os teores e número de horizontes de cada um desses atributos dentro do triângulo textural para os horizontes superficiais e subsuperficiais (**Figura 8**).

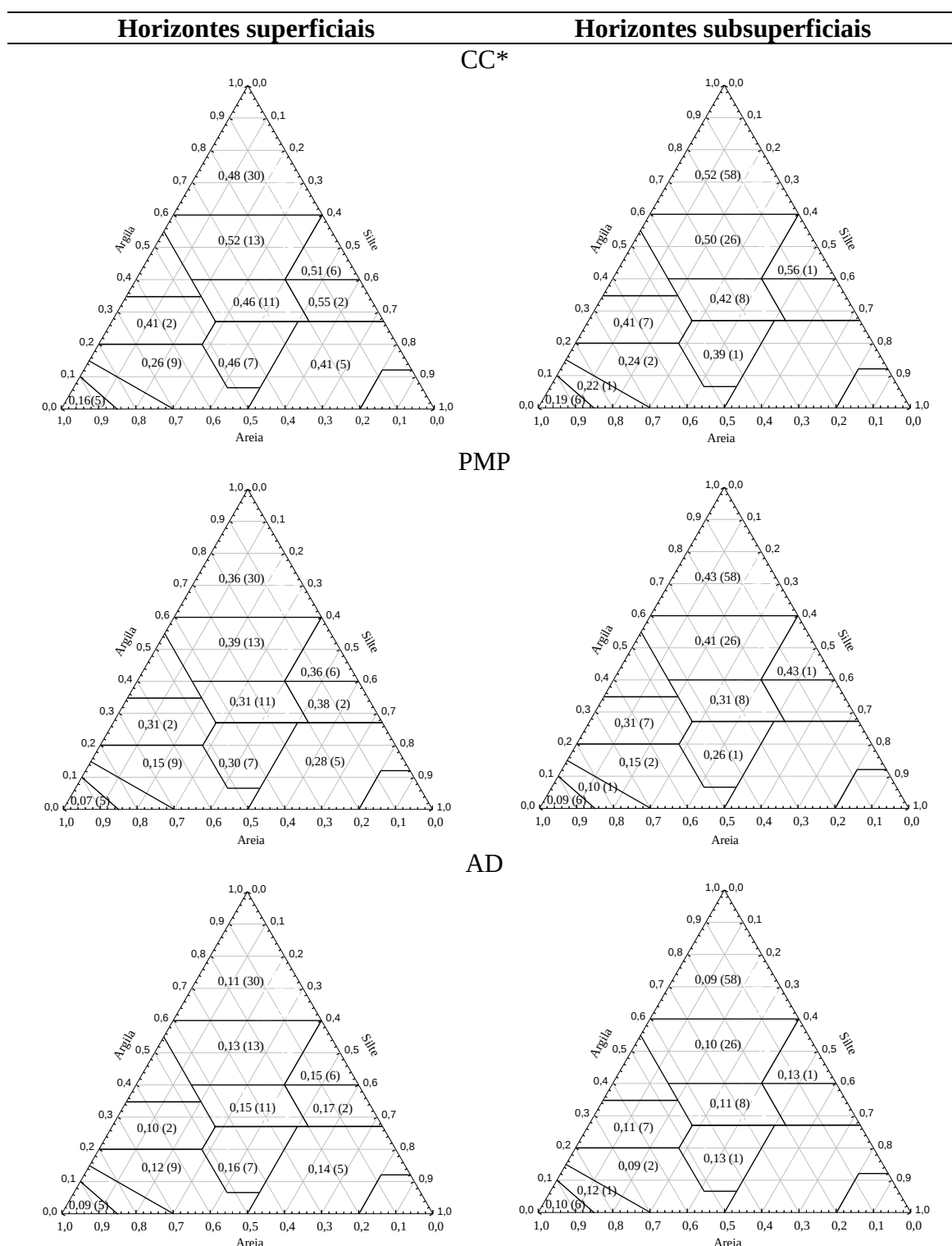


Figura 8. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados conforme a classes textural de solos de Estado de Santa Catarina, 2012. * número fora do parêntesis corresponde ao valor médio do atributo e o número entre parêntesis corresponde ao total de horizontes avaliados em cada classe textural.

Em relação à comparação com estudos da retenção e disponibilidade de água realizados em solos de outros estados brasileiros, REICHERT *et al.* (2009) também encontram maiores conteúdos de água na CC e no PMP em solos com maiores teores de argila e/ou silte. Entretanto, nos solos do Estado do Rio Grande do Sul, a maior AD ocorreu em solos com maiores teores de silte. Quanto as comparações para a CC e para o PMP em solos de mesma classe textural entre os dois estudos, observaram-se maiores CC e PMP para os horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos do Estado de Santa Catarina em comparação a CC e PMP analisados de forma conjunta em solos do Rio Grande do Sul, para todas as classes texturais, exceto nos de textura franco arenosa.

Para a AD, observou-se uma maior similaridade entre os solos com classes texturais semelhantes dos dois Estados, principalmente quando a AD dos horizontes superficiais de solos de Santa Catarina foi comparada com aquela observada em solos do Rio Grande do Sul. Atribui-se a maior retenção de água nos solos Catarinenses como resultante do maior teor de matéria orgânica, a qual teve uma média de 47 g kg^{-1} nos horizontes superficiais e de 17 g kg^{-1} nos horizontes subsuperficiais, que resultou em uma teor médio de 30 g kg^{-1} , enquanto que nos solos do Rio Grande do Sul, o teor de matéria orgânica na média dos horizontes foi de 24 g kg^{-1} . É importante considerar que, no estudo realizado no RS, a maioria das amostras foram coletadas em horizontes superficiais (81 %) e, mesmo assim, o teor médio de matéria orgânica foi menor que aqueles dos solos de Santa Catarina, onde foram analisados um menor percentual de horizontes superficiais (45 %).

Conforme RAWLS *et al.* (2003), o acréscimo do teor de matéria orgânica aumenta a retenção de água, independentemente da textura do solo, principalmente naqueles solos com que já possuem naturalmente elevado teor de matéria orgânica. Essa afirmativa explicaria as maiores CC e PMP observadas nos horizontes superficiais de Santa Catarina. Por outro lado, a maior retenção nos horizontes subsuperficiais pode ser atribuída ao efeito do adensamento do solo pelas camadas superficiais, o qual aumenta o volume de poros com diâmetro menor do que $30 \mu\text{m}$, e resulta em uma maior retenção de água nesses horizontes em relação à média dos horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos rio grandenses, visto que, REICHERT *et al.* (2009) não realizaram a separação entre horizontes em seu estudo.

Em relação aos solos de outros países, RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON (1982) propuseram FPTs pontuais para estimativa da umidade do solos dos EUA em 12 sucções. Em seu estudo, disponibilizaram também os valores médios da porosidade de saturação, do conteúdo de água residual, e dos parâmetros da equação de BROOKS e COREY (1964) para as 12 classes texturais de solo (USDA, 1993), o que possibilitou calcular a CC (10 kPa), o PMP (1.500 kPa) e a AD (10-1.500 kPa), apresentados na **Tabela 32**. Ao se comparar a CC em solos de mesma classe textural entre os dois estudos, observa-se maior CC para os horizontes superficiais dos solos do Estado de Santa Catarina, em comparação ao conjunto de solos dos EUA, para a maiorias das classes texturais. Exceções ocorreram para solos de textura franco argilo arenosa e franco arenosa. Em relação aos horizontes subsuperficiais, a CC foi maior apenas em solos de textura argilosa, argilo siltosa e arenosa. Quanto ao PMP, esse atributo foi maior nos solos catarinenses para todas as classes texturais, independentemente do tipo de horizonte. Observou-se menor AD para os solos catarinenses na maioria das classes texturais, principalmente quando a AD dos horizontes subsuperficiais foi comparada com aquela observada em solos dos EUA. Exceções ocorreram para solos com textura argilo siltosa ou arenosa, os quais tiveram AD semelhante.

Tabela 32. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) médios para as classes texturais (USDA, 1993) de solos do EUA, estimados pela equação de BROOKS e COREY (1964) conforme os parâmetros sugeridos por RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON (1982).

Classe Textural	CC	PMP	AD
Argila	0,46	0,27	0,19
Argilo Arenoso	0,44	0,24	0,21
Franco Argilo Arenoso	0,43	0,15	0,28
Franco Argilo Siltoso	0,43	0,21	0,22
Franco Argiloso	0,41	0,20	0,22
Argilo Siltosa	0,41	0,25	0,16
Franco	0,37	0,12	0,26
Franco Siltoso	0,35	0,13	0,21
Franco Arenoso	0,30	0,10	0,21
Areia Franca	0,20	0,06	0,15
Areia	0,14	0,03	0,10

As razões na diferença da retenção e disponibilidade de água entre os solos catarinenses e aqueles localizados no EUA podem estar associadas ao tipo de argilomineral predominante em cada local, pois nos solos catarinenses predominam caulinita, argilominerais do tipo 2:1 com hidro-Al entrecamadas e óxidos de ferro (ALMEIDA, KÄMPF e ALMEIDA, 1997; ALMEIDA, MAÇANEIRO e KLAMT, 2000; ALMEIDA, TORRENT e BARRÓN, 2003; CORRÊA, 2003; PAES SOBRINHO, 2005; EMBRAPA & EPAGRI, 2008; BRINGHENTI, 2010) (ALMEIDA, KÄMPF e ALMEIDA, 1997; ALMEIDA, MAÇANEIRO e KLAMT, 2000; ALMEIDA, TORRENT e BARRÓN, 2003; CORRÊA, 2003; PAES SOBRINHO, 2005; EMBRAPA & EPAGRI, 2008; BRINGHENTI, 2010), enquanto que nos solos dos EUA predominam solos com argila de atividade alta, visto que, NETTLETON e BRASHER (1983), estudaram aproximadamente 2.000 amostras de horizontes de solos localizados em 12 Estados da região Oeste dos EUA observaram a predominância de esmecita em 28 % das amostras de solos. Esse autores destacaram que a presença de um pequeno percentual de esmectita, em solos com predominância de outros argilominerais, produz nesses solos características semelhantes às de solos esmectíticos. Ainda nesse estudo, os autores observaram que outros argilominerais, como a illita predominavam em 26 % das amostras, a argila amorfa (alta CTC, retenção e disponibilidade de água) predominava em 8 % das amostras e a vermiculita predominava em 3% das amostras e, embora presente em 75% das amostras, a caulinita dominava em apenas 10% delas.

Em outro estudo, RAWLS *et al.* (2003) estudando os efeitos da MO do solo sobre a retenção de água em 12.000 amostras de solos dos EUA, disponíveis na *National Soil Characterization database* (SOIL SURVEY STAFF, 1995), observaram a predominância de solos classificados como Mollisols, Alfisols, Aridisols, Vertisols. Essas classes de solo correspondem, de forma aproximada, aos Chernossolos, Luvisolos, Gleissolos Sálícos e Vertissolos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) e se caracterizam pela presença de argila de atividade alta, ou seja, pela predominância de argilominerais do tipo 2:1, o que concorda com estudo de NETTLETON e BRASHER (1983) em solos dos EUA. Para os solos avaliados em SC, comparadas as classes predominantes em solos dos EUA, foram observados apenas três perfis de Chernossolos, que correspondem a somente 7% do total de perfis de solos avaliados, ou seja, os atributos mineralógicos dos solos destes locais são diferentes.

O aumento da disponibilidade de água proporcionado pelos argilominerais do tipo 2:1 foi pouco explorado (BRUAND, 2004). Contudo, dentre os trabalhos existentes, a maioria deles indica que essa relação é verdadeira (HODNETT e TOMASELLA, 2002; GAISER, GRAEF e CORDEIRO, 2000). BRUAND (2004) fez uma revisão sobre estudos que relacionam a mineralogia da argila com a retenção de água do solo na literatura internacional e concluiu que os estudos existentes indicam que a mineralogia da fração argila influencia mais a CC do que o PMP, e a disponibilidade de água aumenta em função da quantidade de argilo minerais do tipo 2:1. REICHERT *et al.* (2009) também observaram maior retenção e disponibilidade de água em solos siltosos com maior percentual de argilominerais do tipo 2:1 em solos do Rio Grande do Sul.

Para entender melhor o efeito da mineralogia do solo foram calculados a CC, o PMP e a AD utilizando algumas FPTs paramétricas propostas por HODNETT e TOMASELLA (2002), as quais fornecem os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) em função da classe textural do solo (USDA, 1993) utilizando duas bases de dados, uma contendo solos de clima tropical (argila de atividade baixa) e outra contendo solos de clima temperado (argila de atividade alta). Constata-se que solos de clima temperado possuem maior CC em solos de textura mais fina e menor CC em solos de textura mais grosseira; solos de clima temperado possuem menor PMP independentemente da classe textural; essas diferenças resultam em maior disponibilidade de água para as plantas na maioria das classes texturais (**Tabela 33**).

Tabela 33. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) médios para as classes texturais (USDA, 1993) de solos do EUA, estimados pela equação de van GENUCHTEN (1980) conforme os parâmetros sugeridos por HODNETT e TOMASELLA (2002) para solos de clima tropical e temperado.

Classe Textural	CC	PMP	AD	CC	PMP	AD
	----- Clima Tropical -----			----- Clima Temperado -----		
Argilo arenoso	0,35	0,27	0,08	0,35	0,27	0,09
Argila	0,35	0,28	0,07	0,37	0,27	0,10
Franco argilo siltoso	0,33	0,24	0,09	0,39	0,20	0,19
Franco siltoso	0,31	0,18	0,13	0,33	0,10	0,23
Franco argiloso	0,29	0,24	0,06	0,33	0,15	0,18
Argilo siltosa	0,28	0,22	0,06	0,31	0,17	0,14
Franco	0,25	0,15	0,10	0,24	0,09	0,15
Franco argilo arenoso	0,21	0,16	0,05	0,22	0,11	0,11
Franco arenoso	0,15	0,09	0,06	0,12	0,07	0,06
Areia franca	0,09	0,06	0,03	0,07	0,06	0,01
Areia	0,05	0,04	0,01	0,05	0,05	0,00

No caso dos solos catarinenses, a relação observada em estudos de solos de clima temperado dos EUA (NETTLETON e BRASHER, 1983; HODNETT e TOMASELLA, 2002) não é válida, pois o clima atual de Santa Catarina varia em função da altitude do local, alternando-se entre clima subtropical constantemente úmido (Cfa), sem estação seca, com verão quente (temperatura média do mês mais quente $> 22^\circ\text{C}$) e clima temperado constantemente úmido (Cfb), sem estação seca, com verão fresco (temperatura média do mês mais quente $< 22^\circ\text{C}$) (EPAGRI/CIRAM, 2002). Isso deveria resultar na predominância de solos com argila de atividade alta, levando-se em consideração a mineralogia observada em alguns solos norte-americanos. Entretanto, isso não ocorre, pois, conforme já citado anteriormente, nos solos catarinenses predominam a caulinita associada a argilominerais do tipo 2:1 com hidro-Al entrecamadas e óxidos de ferro. Os motivos dessas diferenças estão relacionados com a distribuição e o volume de precipitações no passado e no presente, pois o clima de Santa Catarina não possui estação seca e o volume precipitado supera a evapotranspiração na maior parte do ano, ou seja, ocorre uma constante lixiviação dos cátions de maior mobilidade no solo, favorendo os processos de monossialitização (MELFI e PEDRO, 1977). Por outro lado, esse clima úmido e frio favorece o acúmulo de matéria orgânica no solo (KÄMPF e SCHWERTMANN, 1983; TATE, 1992; KER, 1997; CHEN e CHIU, 2000; DALMOLIN *et al.*, 2006), especialmente nos solos do Planalto e Oeste

Catarinense onde o clima é o tipo Cfb e predominam solos com elevados teores de argila (ALMEIDA, KÄMPF e ALMEIDA, 1997; ALMEIDA, MAÇANEIRO e KLAMT, 2000; ALMEIDA, TORRENT e BARRÓN, 2003; CORRÊA, 2003; EMBRAPA & EPAGRI, 2008; TESKE, 2010), a qual favorece ainda mais o acúmulo de matéria orgânica do solo (FELLER e BEARE, 1997; TOGNON, DEMATTÊ e DEMATTÊ, 1998; JASTROW, AMONETTE e BAILEY, 2007; DIECKOW *et al.*, 2009) pela capacidade de proteção química e física dos argilominerais dificultando a decomposição microbiana da matéria orgânica (OADES, 1988; BALDOCK e SKJEMSTAD, 2000; DIECKOW *et al.*, 2009). É importante ressaltar que o clima atual de SC difere do clima pretérito, pois estudos palinológicos (idade do polén) realizados em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul demonstraram que o clima foi bastante frio e relativamente seco entre os anos 14.000 a.c a 10.000 a.c; quente e seco entre 10.000 a.c a 3.000 a.c.; e frio e úmido no período de 3.000 a.c até 1.000 a.c; e finalmente frio e bastante úmido nos últimos três milênios (BEHLING, 1995; BEHLING, 2002; BEHLING, PILLAR e BAUERMANN, 2005) (BEHLING, 1995; BEHLING, 2002; BEHLING, PILLAR e BAUERMANN, 2005)

O efeito da dominância de caulinita, associada à presença argilominerais do tipo 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas e óxidos de ferro, nos solos catarinenses, pode ser um dos motivos da alta retenção de água no PMP para solos com teores médios a elevados de argila. A existência de estudos que avaliaram o efeito da presença de polímeros de hidróxi-Al argilominerais do tipo 2:1 sobre a retenção e disponibilidade de água no solo, comparando-os com solos com ausência de polímeros nas entrecamadas ou solos caulinitos, não foram encontrados na literatura. Além disso, a maior retenção de água dos solos catarinenses, em comparação aos solos dos EUA, provavelmente também está associada aos maiores teores de matéria orgânica (MO) em solos de Santa Catarina, onde os teores médios foram de 47 g kg⁻¹ nos horizontes superficiais e de 17 g kg⁻¹ nos horizontes subsuperficiais. Por outro lado, no banco de dados de solos dos EUA, utilizados para predição parâmetros da equação de BROOKS e COREY (1964) propostos por RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON (1982), os teores médios de MO foram de apenas 11 g kg⁻¹, com uma mediana de 3,4 g kg⁻¹ (NEMES *et al.*, 2009).

Em relação a solos de países europeus, AL MAJOU *et al.* (2008) propuseram umidades médias em diferentes sucções para solos da França em função da classe textural do solo. Embora os autores tenham utilizado o triângulo textural proposto pela

Comissão Europeia (CEC, 1985), o qual difere pelo número de classes (apenas 5) daquele utilizado nesse estudo (13 classes), também se fez possível observar a redução da CC (10 kPa) e do PMP (1.500 kPa) com a redução do teor de argila do solo. Quanto à comparação da CC e do PMP em cada classe textural, também observou-se maior retenção de água nos solos de SC para os dois atributos físicos; porém, a AD foi muito parecido nas classes texturais equivalentes nos dois locais, com maior disponibilidade de água em solos mais siltosos. As maiores CC e PMP nos solos de SC podem ser atribuídas aos mesmos motivos discutidos anteriormente na comparação com os solos do RS, pois os teores médios de MO dos solos franceses foi de apenas 10 g kg^{-1} , muito inferior àquele observado nos solos de SC, o qual teve uma MO média de 47 g kg^{-1} nos horizontes superficiais e de 17 g kg^{-1} nos horizontes subsuperficiais.

A CC e o PMP em solos de clima tropical semi-árido, localizados na região nordeste do Brasil e Sudeste da Nigéria foram avaliados por GAISER, GRAEF e CORDEIRO (2000), os quais foram dividindo em solos de argila de ativada alta e baixa. A capacidade de campo nesse estudo foi considerada como a umidade do solo na sucção de 33 kPa. A comparação da CC e do PMP dos solos catarinenses com aqueles de região tropical semi-árida indicou maior retenção de água em todas as classes texturais dos solos Catarinenses, independentemente da atividade da argila nos solos tropicais do semi-árido. Nos solos de clima tropical semi-árido foi constatado maior conteúdo de água disponível nos solos argilosos, enquanto nos solos de SC, com clima subtropical e/ou temperado úmido, a maior disponibilidade de água foi observada em solos com textura franca e suas variações. Em relação a esse atributo, observou-se maior diferença na disponibilidade de água em solos de textura areia franca e areia, nos quais a AD foi cerca de $0,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ menor nos solos de regiões tropicais semi-áridas, em relação àquela observada em solos catarinenses. Situação inversa ocorreu em solos argilosos e muito argilosos com argila de atividade alta, nos quais a AD foi maior em solos de regiões tropicais semi-áridas. Para as demais classes texturais houve pequena diferença na disponibilidade de água entre os solos dos dois locais.

4.2.2 Retenção e disponibilidade de água *versus* litologia do solo

Os atributos físicos relacionados à retenção de água diferiram em função da litologia do solo (**Tabela 34** e **Tabela 35**). Nos horizontes superficiais, maiores umidades na CC e no PMP ocorreram nos solos derivados de: rochas ígneas extrusivas

da Formação Serra Geral (Andesito Basalto, Basalto, Basalto Amigdalóide, Dácito, Riodácito) (**Tabela 34**), as quais originam solos com classe textural argilosa ou muito argilosa (EMBRAPA, 2006) e com teores médios de MO acima de 50 g kg^{-1} (**Tabela 36**); rochas metamórficas (Granada Muscovita Xisto, Granulito Máfico, Migmatito, Parametamórfica); ígneas intrusivas (Hornblendito, exceto Granito) e rochas sedimentares de textura fina (Folhelhos ou Siltitos), as quais originaram solos com textura média (EMBRAPA, 2006) e teores médios de MO entre 35 a 50 g kg^{-1} . Os solos com CC e PMP intermediários foram aqueles derivados de rochas sedimentares (Siltitos e Arenitos finos, Arenitos e Siltitos), as quais originaram solos com textura média (EMBRAPA, 2006), mas com teores de argila de aproximadamente 170 g kg^{-1} e com teores médios de MO próximos 35 g kg^{-1} . A menor umidade na CC e no PMP ocorreram em solos derivados de rochas ou depósitos sedimentares ricos em quartzo (Arenito Botucatu e Depósitos Aluvionares Recentes) as quais originaram solos com textura arenosa (EMBRAPA, 2006) e teores médios de MO entre 20 a 25 g kg^{-1} , como também aqueles solos derivados de Granito, o qual originou solos com textura arenosa com teores médios de MO de 35 g kg^{-1} , diferenciando-se dos demais solos avaliados devido ao seu elevado teor de cascalho (186 g kg^{-1}) e de areia grossa (356 g kg^{-1}).

Nos horizontes subsuperficiais, a ordem de decréscimo da CC e do PMP em função da litologia do solo foi muito parecida com aquela observada nos horizontes superficiais (**Tabela 34**). Contudo, algumas diferenças foram observadas para o teor de MO (**Tabela 36**), o qual foi menor em todos os horizontes subsuperficiais das litologias avaliadas, e para o teor de argila do solo, o qual aumentou na subsuperfície em todas as litologias. Entretanto, a taxa de redução da MO e do aumento do teor de argila com a profundidade do solo variou entre os solos de diferentes litologias.

O efeito do adensamento, em conjunto com o aumento dos teores de argila do solo resultou no aumento da CC e em maior magnitude do PMP para a maioria dos horizontes subsuperficiais, com média de $0,04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na CC e de $0,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ no PMP. Os maiores aumentos da CC e do PMP foram observados nos solos derivados das litologias: Granada Muscovita Xisto, Siltitos e Arenitos finos, Parametamórfica, Basalto Amigdalóide e Granulito Máfico, nas quais a CC e o PMP aumentaram respectivamente em até $0,13$ e $0,18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em relação às observadas nos horizontes superficiais. Essa maior diferença foi devido principalmente ao aumento no teor de argila, entre 192 a 417 g kg^{-1} .

Utilizando a litologia como um fator de efeito fixo observou-se que ocorrem grandes diferenças na CC e no PMP entre solos de litologias diferentes. Nos horizontes superficiais, a CC variou de $0,16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nos solos de Depósitos Aluvionares Recentes até $0,54 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nos solos derivados de Andesito Basalto, enquanto o PMP variou entre $0,07$ a $0,38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ entre essas litologias. Nos horizontes subsuperficiais com estas mesmas litologias, a CC variou de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ até $0,55 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, enquanto o PMP variou entre $0,10$ a $0,44 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Essas diferenças resultam em uma amplitude $0,38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na CC e de $0,31 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ no PMP nos horizontes superficiais e $0,34 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ na CC e $0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ no PMP nos horizontes subsuperficiais.

Tabela 34. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), expressos em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, em solos de agrupados por litologia no Estado de Santa Catarina, 2012.

Litologia	CC	ep*	Litologia	PMP	ep
Horizonte Superficial					
Andesito Basalto	0,54 ab**	0,07	Basalto	0,38 a	0,01
Basalto	0,51 a	0,02	Andesito Basalto	0,38 ab	0,05
Dacito	0,50 ab	0,04	Dácito	0,37 ac	0,03
Folhelho	0,49 abc	0,04	Granulito Máfico	0,36 ab	0,03
Gnaisse	0,49 abc	0,04	Riodacito	0,36 abd	0,05
Granulito Máfico	0,48 abc	0,05	Folhelho	0,34 abd	0,03
Riodacito	0,46 abc	0,07	Gnaisse	0,34 abd	0,03
Siltitos	0,44 abc	0,07	Parametamórfica	0,30 abde	0,05
Hornblendito	0,42 abc	0,07	Basalto Amigdalóide	0,29 bde	0,02
Granada Muscovita Xisto	0,41 abcd	0,07	Hornblendito	0,28 abde	0,05
Basalto Amigdalóide	0,41 bc	0,03	Migmatito	0,27 bcde	0,05
Parametamórfica	0,41 abcd	0,07	Granada Muscovita Xisto	0,27 bcde	0,05
Migmatito	0,40 abcde	0,07	Siltitos	0,22 def	0,05
Siltitos e Arenitos finos	0,35 bcde	0,07	Siltitos e Arenitos finos	0,21 ef	0,05
Arenitos e Siltitos	0,34 cde	0,07	Arenitos e Siltitos	0,20 ef	0,05
Arenito Botucatu	0,25 def	0,05	Arenito Botucatu	0,14 fg	0,03
Granito	0,21 ef	0,07	Granito	0,12 fg	0,05
Depósitos aluvionares recentes	0,16 f	0,04	Depósitos aluvionares recentes	0,07 g	0,03
Horizontes Subsuperficial					
Andesito Basalto	0,55 ab	0,05	Andesito Basalto	0,44 ab	0,05
Granulito Máfico	0,53 abc	0,03	Granada Muscovita Xisto	0,43 ab	0,05
Dacito	0,53 a	0,03	Granulito Máfico	0,43 ab	0,03
Basalto	0,52 a	0,01	Basalto	0,43 a	0,01
Granada Muscovita Xisto	0,52 abc	0,05	Riodacito	0,43 abc	0,05
Basalto Amigdalóide	0,52 abc	0,02	Dacito	0,43 ab	0,03
Riodacito	0,50 abc	0,05	Basalto Amigdalóide	0,42 a	0,02
Parametamórfica	0,50 abc	0,05	Parametamórfica	0,42 abc	0,05
Siltitos e Arenitos finos	0,48 abcd	0,05	Siltitos e Arenitos finos	0,39 abc	0,05
Hornblendito	0,48 abcd	0,05	Migmatito	0,37 abcd	0,05
Folhelho	0,47 abcd	0,03	Folhelho	0,37 abc	0,03
Gnaisse	0,47 abcd	0,03	Gnaisse	0,37 abc	0,03
Migmatito	0,46 abcd	0,05	Hornblendito	0,35 abcd	0,05
Siltitos	0,42 bcd	0,05	Siltitos	0,29 cde	0,05
Arenitos e Siltitos	0,36 def	0,05	Arenitos e Siltitos	0,24 def	0,05
Granito	0,28 efg	0,05	Granito	0,19 efg	0,05
Arenito Botucatu	0,24 fg	0,05	Arenito Botucatu	0,14 fg	0,05
Depósitos aluvionares recentes	0,20 g	0,03	Depósitos aluvionares recentes	0,10 g	0,03

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as litologias em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

Em função das diferenças observadas na CC e no PMP, o conteúdo de água disponível (AD) variou 0,08 a 0,21 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ nos horizontes superficiais. Entretanto, a maior capacidade de retenção água de alguns solos não resultou em maior disponibilidade de água para as plantas, pois os maiores conteúdos de água disponível ocorreram nos solos derivados de siltitos e os menores naqueles derivados de granito e

de depósitos aluvionares recentes (**Tabela 35**). Os solos das demais litologias tiveram conteúdo de água disponível intermediário entre as litologias citadas acima. A maior AD em solos catarinenses derivados de siltitos ocorreu pela distribuição granulométrica mais equilibrada, com teores de argila, silte e areia muito próxima da relação 1/3 de cada fração, e também devido aos maiores teores de areia muito fina (172 g kg^{-1}) em comparação aos solos das demais litologias, nos quais os teores de areia muito fina variaram entre 5 a 99 g kg^{-1} . Enquanto que, a menor AD em solos catarinenses derivados de depósitos aluvionares recentes ocorreu devido aos menores teores de MO dentre as litologias avaliadas, como também aos baixos teores de areia muito fina. A MO e a areia muito fina foram os atributos físicos do solo com maiores efeitos diretos sobre o aumento da disponibilidade de água nos horizontes superficiais dos solos de Santa Catarina, conforme os resultados observados pela análise de trilha, a qual foi apresentada e discutida no Estudo 1.

Tabela 35. Conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) em solos agrupados por litologia no Estado de Santa Catarina, 2012.

Litologia	AD	ep*	Litologia	AD	ep
Horizonte superficial			Horizonte subsuperficial		
Siltitos	0,21 a **	0,03	Hornblendito	0,13 ns	0,02
Andesito Basalto	0,16 abc	0,03	Siltitos	0,13	0,02
Folhelho	0,15 ab	0,02	Arenitos e Siltitos	0,12	0,02
Gnaisse	0,15 ab	0,02	Andesito Basalto	0,11	0,02
Hornblendito	0,14 abc	0,03	Dacito	0,11	0,01
Granada Muscovita Xisto	0,14 abc	0,03	Depósitos aluvionares recentes	0,10	0,01
Arenitos e Siltitos	0,14 abc	0,03	Granulito Máfico	0,10	0,01
Siltitos e Arenitos finos	0,14 abc	0,03	Folhelho	0,10	0,01
Dacito	0,13 abc	0,02	Gnaisse	0,10	0,01
Basalto Amidalóide	0,13 bc	0,01	Basalto Amidalóide	0,10	0,01
Basalto	0,13 bc	0,01	Basalto	0,09	0,01
Migmatito	0,12 abc	0,03	Migmatito	0,09	0,02
Arenito Botucatu	0,12 bc	0,02	Siltitos e Arenitos finos	0,09	0,02
Granulito Máfico	0,12 bc	0,02	Arenito Botucatu	0,09	0,02
Riodacito	0,11 bc	0,03	Granada Muscovita Xisto	0,09	0,02
Parametamórfica	0,10 bc	0,03	Granito	0,08	0,02
Depósitos aluvionares recentes	0,09 c	0,02	Parametamórfica	0,08	0,02
Granito	0,08 bc	0,03	Riodacito	0,07	0,02

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as litologias em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

Nos horizontes subsuperficiais, embora o conteúdo médio de AD tenha variado entre 0,07 a $0,13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, devido à elevada variabilidade desse atributo em horizontes de solos com mesma litologia, o teste de médias não detectou diferenças significativas entre os teores de água disponível para as diferentes litologias, ou seja, nos horizontes

subsuperficiais dos solos de Santa Catarina existe um conteúdo médio de AD igual a $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Estudos que avaliaram o efeito da litologia na CC, PMP e AD não foram encontrados na literatura brasileira. O único estudo encontrado que utilizou a litologia do solo como meio de agrupamento de perfis do solo foi o realizado por BASTET (1999), que agrupou 597 perfis de solos localizados na França em função de sua litologia e propôs FPTs específicas para solos de mesma litologia.

4.2.3 Retenção e disponibilidade de água *versus* classes de solo

O agrupamento dos perfis em função das classes de solo do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) ao nível de subordens, teve por objetivos indicar valores de referência para a CC, PMP e AD para as principais classes de solos que ocorrem em SC. Esse agrupamento indicou que existem diferenças na retenção de água, principalmente nos horizontes superficiais do solo (**Tabela 37**). No entanto, a CC e o PMP no horizonte superficial foram semelhantes estatisticamente entre solos com médias que diferem em até $0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, indicando que existe uma grande variabilidade na retenção de água entre solos de mesma classe em nível de subordem.

Nos horizontes superficiais, a CC e o PMP foram maiores nas classes de Cambissolos (especialmente nos Húmicos), Nitossolos e Latossolos; intermediária nos Argissolos, Neossolos Litólicos e Chernossolos; e menor nos Neossolos Quartzarênicos (**Tabela 37**). Para os horizontes subsuperficiais, a CC e o PMP da maioria das classes de solo foram semelhantes estatisticamente, encontrando-se diferenças apenas para a classe dos Neossolos Quartzarênicos, a qual se diferenciou das demais classes por ter uma menor retenção de água na CC e no PMP.

A maior retenção de água nos horizontes superficiais dos Cambissolos Húmicos está associada ao seu maior teor de MO (**Tabela 39**), o qual foi de $18 \text{ a } 47 \text{ g kg}^{-1}$ maior nessa classe de solo em comparação às demais classes avaliadas e também devido a sua textura franco argilosa. Quanto aos Latossolos e Nitossolos, as elevadas CC e PMP estão associadas aos elevados teores de argila e de MO. A menor retenção de água nos Neossolos Quartzarênicos (**Tabela 37** e **Tabela 38**) está associada ao elevado teor de areia (acima de 900 g kg^{-1}), o que resulta na predominância de macroporos.

Tabela 36. Número de horizontes (nº), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para argila, silte, areia e matéria orgânica (MO) em solos agrupados por litologia no Estado de Santa Catarina, 2012.

Litologia	nº	Argila		Silte		Areia		MO	
		Teor	ep*	Teor	ep	Teor	ep	Teor	ep
Horizonte superficial									
Riodacito	4	669	132	308	91	23	70	55	34
Basalto	30	588	37	305	25	107	19	62	10
Dacito	9	587	76	354	53	59	40	60	21
Andesito Basalto	2	464	133	397	91	140	70	62	36
Migmatito	5	409	133	227	91	364	70	33	36
Folhelho	4	384	77	378	53	238	41	48	21
Granulito Máfico	3	373	94	273	65	353	50	50	26
Basalto Amidalóide	11	355	50	451	35	194	27	57	14
Gnaisse	2	335	133	261	91	405	70	34	36
Siltitos	1	323	133	322	91	355	70	38	36
Parametamórfica	1	266	133	194	92	540	70	45	36
Hornblendito	1	211	133	286	92	504	70	40	36
Granada Muscovita Xisto	2	206	133	344	92	449	70	36	36
Arenitos e Siltitos	3	172	133	123	91	704	70	17	36
Siltitos e Arenitos finos	3	171	132	359	91	470	70	19	34
Granito	4	140	132	143	91	717	70	21	34
Arenito Botucatu	5	137	94	79	65	784	50	14	26
Depósitos aluvionares recentes	4	37	77	20	53	943	41	12	21
Horizonte subsuperficial									
Riodacito	3	798	112	183	77	19	63	22	5
Basalto	32	687	33	227	22	86	18	21	2
Granada Muscovita Xisto	7	624	112	159	77	218	63	16	5
Dacito	3	622	65	323	45	56	37	26	3
Basalto Amidalóide	3	594	43	295	29	111	24	16	2
Andesito Basalto	4	592	112	279	77	129	63	26	5
Siltitos e Arenitos finos	14	587	112	176	77	238	62	17	5
Migmatito	4	576	112	181	77	243	63	19	5
Parametamórfica	8	570	112	111	77	319	62	10	5
Granulito Máfico	9	565	79	186	54	248	44	14	3
Folhelho	5	538	65	264	44	197	36	16	3
Gnaisse	2	409	113	245	77	346	63	12	5
Siltitos	2	331	113	339	77	329	63	12	5
Hornblendito	3	294	113	303	77	404	63	19	5
Granito	3	247	112	168	77	585	63	16	5
Arenitos e Siltitos	1	226	112	163	77	611	63	5	5
Arenito Botucatu	7	163	115	77	78	761	66	7	5
Depósitos aluvionares recentes	3	41	65	26	45	933	37	7	3

* ep: erro padrão em g kg^{-1}

O conteúdo de água disponível de solos de SC diferiu em até $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (**Tabela 38**) entre as subordens. Nos horizontes superficiais, a maior AD ocorreu nos Cambissolos Húmicos, seguido dos Neossolos Litólicos ($0,16$ até $0,19 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). As demais classes tiveram uma AD inferior aos Cambissolos Húmicos e Neossolos Litólicos e não diferiram entre si (AD entre $0,09$ a $0,14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

Nos horizontes subsuperficiais, o conteúdo de água disponível diferiu entre poucas classes de solo, pois a amplitude foi de apenas $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Dentre as classes comparadas, destacaram-se os Cambissolos Húmicos, com maiores AD, e os Nitossolos Vermelhos e Brunos, com menores AD. Nas demais classes, a AD foi intermediária e não diferiram entre si.

Tabela 37. Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) em diferentes classes de solo (subordens) utilizando o SiBCS (EMBRAPA, 2006) no Estado de Santa Catarina, 2012.

Classe Textural	CC	ep*	Classe Textural	PMP	ep
Horizonte			Superficial		
Cambissolo Húmico	0,55 a**	0,04	Nitossolo Bruno	0,39 a	0,02
Nitossolo Bruno	0,50 ab	0,03	Cambissolo Húmico	0,37 ab	0,04
Latossolo Bruno	0,49 abc	0,09	Latossolo Bruno	0,36 abc	0,07
Nitossolo Vermelho	0,47 abc	0,03	Nitossolo Vermelho	0,35 abc	0,04
Latossolo Vermelho Amarelo	0,44 abc	0,09	Cambissolo Háplico	0,31 abc	0,05
Cambissolo Háplico	0,43 abc	0,06	Latossolo Vermelho	0,31 abc	0,04
Latossolo Vermelho	0,43 abc	0,05	Latossolo Vermelho Amarelo	0,30 abc	0,07
Argissolo Amarelo	0,42 abc	0,05	Argissolo Amarelo	0,29 abc	0,04
Neossolo Litólico	0,40 bc	0,04	Latossolo Amarelo	0,27 abc	0,07
Latossolo Amarelo	0,40 abc	0,09	Chernossolo Argilúvico	0,27 bc	0,05
Chernossolo Argilúvico	0,39 bc	0,06	Argissolo Vermelho Amarelo	0,27 bc	0,03
Chernossolo Háplico	0,38 abc	0,09	Chernossolo Háplico	0,25 abc	0,07
Argissolo Vermelho Amarelo	0,38 c	0,04	Neossolo Litólico	0,24 c	0,04
Argissolo Vermelho	0,35 bcd	0,09	Argissolo Vermelho	0,21 bcd	0,07
Neossolo Quartzarênico	0,16 d	0,05	Neossolo Quartzarênico	0,07 d	0,04
Horizonte			Subsuperficial		
Chernossolo Háplico	0,55 ab	0,07	Chernossolo Háplico	0,46 ab	0,07
Nitossolo Bruno	0,53 a	0,02	Nitossolo Bruno	0,45 a	0,02
Nitossolo Vermelho	0,52 ab	0,02	Nitossolo Vermelho	0,43 ab	0,03
Cambissolo Húmico	0,52 ab	0,03	Argissolo Amarelo	0,41 ab	0,04
Argissolo Amarelo	0,51 ab	0,04	Latossolo Bruno	0,39 ab	0,07
Latossolo Vermelho	0,50 ab	0,04	Latossolo Vermelho	0,39 ab	0,04
Chernossolo Argilúvico	0,48 ab	0,05	Argissolo Vermelho	0,39 ab	0,07
Argissolo Vermelho	0,48 ab	0,07	Cambissolo Húmico	0,39 ab	0,03
Latossolo Bruno	0,48 ab	0,07	Chernossolo Argilúvico	0,38 ab	0,05
Latossolo Amarelo	0,46 ab	0,07	Latossolo Amarelo	0,37 ab	0,07
Cambissolo Háplico	0,45 ab	0,05	Cambissolo Háplico	0,36 ab	0,05
Argissolo Vermelho Amarelo	0,44 b	0,03	Argissolo Vermelho Amarelo	0,34 b	0,03
Latossolo Vermelho Amarelo	0,41 abc	0,07	Latossolo Vermelho Amarelo	0,31 abc	0,07
Neossolo Litólico	0,24 cd	0,07	Neossolo Litólico	0,14 cd	0,07

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as classes de solos em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

Tabela 38. Conteúdo de água disponível (AD) em diferentes classes de solos (subordens) utilizando o SiBCS (EMBRAPA, 2006) no Estado de Santa Catarina, 2012.

Litologia	AD	ep*	Litologia	AD	ep*
Horizonte Superficial			Horizonte Subsuperficial		
Cambissolo Húmico	0,19 a**	0,01	Cambissolo Húmico	0,13 a	0,01
Neossolo litólico	0,16 ab	0,01	Latossolo Vermelho	0,11 ab	0,01
Argissolo Amarelo	0,14 bc	0,02	Neossolo Quartzarênico	0,10 abc	0,01
Latossolo Vermelho Amarelo	0,14 abcd	0,03	Chernossolo Argilúvico	0,10 abc	0,01
Argissolo Vermelho	0,14 abcd	0,03	Latossolo Vermelho Amarelo	0,10 abc	0,02
Chernossolo Háplico	0,13 abcd	0,03	Argissolo Amarelo	0,10 abc	0,01
Latossolo Bruno	0,13 abcd	0,03	Argissolo Vermelho Amarelo	0,10 bc	0,01
Chernossolo Argilúvico	0,13 bcd	0,02	Nitossolo Vermelho	0,10 bc	0,01
Latossolo Amarelo	0,12 bcd	0,03	Cambissolo Háplico	0,09 abc	0,01
Nitossolo Vermelho	0,12 bcd	0,01	Latossolo Amarelo	0,09 abc	0,02
Latossolo Vermelho	0,12 bcd	0,02	Argissolo Vermelho	0,09 abc	0,02
Cambissolo Háplico	0,12 bcd	0,02	Neossolo Litólico	0,09 abc	0,02
Nitossolo Bruno	0,12 cd	0,01	Chernossolo Háplico	0,09 abc	0,02
Argissolo Vermelho Amarelo	0,11 cd	0,01	Latossolo Bruno	0,09 abc	0,02
Neossolo Quartzarênico	0,09 d	0,02	Nitossolo Bruno	0,08 c	0,01

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as classes de solo em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

A maior disponibilidade de água nos horizontes superficiais dos Cambissolos Húmicos e Neossolos Litólicos ocorreu devido ao efeito aditivo de dois atributos do solo. Pois, esses solos tiveram maiores teores de matéria orgânica (MO) em comparação aos das demais classes e teores de argila, silte e areia muito próximo da relação 1/3 de cada fração. O teor de MO foi o fator mais importante para o aumento da disponibilidade de água nos solos catarinenses, conforme os resultados observados e discutidos no Estudo 1.

BATJES (1996) avaliou o conteúdo de água disponível (33-1.500 kPa) de solos que formam a base de dados “*World Inventory of Soil Emission Potentials (WISE)*”, constituída por 4.352 perfis de solos e utilizada para elaboração do Mapa Mundial de Solos da FAO-UNESCO. O autor desenvolveu FPTs regradas para estimativa da AD baseadas nas unidades de solo da FAO-Unesco e na classe textural do solo. Assim como nos solos de SC, nas FPTs sugeridas por BATJES (1996) também foram observados maiores conteúdos de água disponível nos *Humic Cambisols* (FAO, 1991), os quais correspondem aproximadamente a ordem dos Cambissolos Húmicos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

Tabela 39. Número de horizontes (n.), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para argila, silte, areia e matéria orgânica (MO) em solos agrupados por classes de solos (subordens) utilizando o SiBCS (EMBRAPA, 2006) Estado de Santa Catarina, 2012.

Litologia	Argila			Silte		Areia		MO	
	n.	Teor	ep*	Teor	ep	Teor	ep	Teor	ep
Horizonte superficial									
Latossolo Vermelho	8	744	50	207	59	49	87	41	19
Latossolo Bruno	3	692	87	254	101	54	150	55	33
Nitossolo Bruno	24	620	29	301	34	80	50	50	10
Nitossolo Vermelho	7	472	44	369	51	159	75	47	16
Cambissolo Háplico	3	441	62	390	72	167	106	29	22
Latossolo Amarelo	2	409	88	227	102	364	150	33	33
Cambissolo Húmico	9	369	44	392	51	239	75	93	16
Latossolo Vermelho Amarelo	2	335	88	261	102	405	150	34	33
Chernossolo Háplico	2	280	88	485	102	235	150	33	33
Argissolo Vermelho Amarelo	9	264	39	201	46	533	67	36	14
Chernossolo Argilúvico	4	252	62	500	72	248	106	48	22
Neossolo Litólico	6	238	44	276	51	483	75	62	16
Argissolo Amarelo	3	230	51	378	59	392	87	53	19
Argissolo Vermelho	3	171	87	359	101	470	150	19	33
Neossolo Quartzarênico	5	36	51	20	59	943	87	12	19
Horizonte subsuperficial									
Latossolo Vermelho	9	792	63	168	36	40	59	19	3
Nitossolo Bruno	27	702	37	228	21	70	34	21	2
Latossolo Bruno	3	694	110	250	62	55	102	26	5
Nitossolo Vermelho	10	654	55	247	31	99	51	17	3
Argissolo Vermelho	4	587	109	176	61	238	101	17	5
Latossolo Amarelo	3	576	110	181	62	243	102	19	5
Cambissolo Háplico	4	538	79	315	44	146	72	17	3
Chernossolo Háplico	1	537	113	287	64	175	103	16	7
Argissolo Amarelo	7	505	64	253	36	242	59	17	3
Chernossolo Argilúvico	5	455	78	380	44	165	72	16	3
Cambissolo Húmico	9	436	55	341	31	222	51	24	3
Argissolo Vermelho Amarelo	18	435	49	163	28	402	45	12	2
Latossolo Vermelho Amarelo	2	409	110	245	62	346	102	12	5
Neossolo Litólico	1	163	113	77	64	761	103	7	7
Neossolo Quartzarênico	7	41	64	26	36	933	59	7	3

* ep: erro padrão em g kg^{-1}

Em relação às classes de Argissolos, Latossolos e Nitossolos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), que respectivamente correspondem de forma aproximada às classes de *Acrisols*, *Ferralsols* e *Nitisols* pela classificação da FAO (1991), as FPTs sugeridas por BATJES (1996) indicam uma AD aproximadamente $0,04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ maior nos *Acrisols* (média de $0,12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), em comparação aos *Ferralsols* e *Nitisols* (média de $0,08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), o que corresponde a uma AD cerca de 50 % maior. Nos solos de SC, essa diferença não foi observada, pois

essas três classes de solos tiveram AD muito próximos de $0,12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nos horizontes superficiais e de $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nos horizontes subsuperficiais. BATJES (1996) atribuiu o efeito da mineralogia do solo como causas da menor disponibilidade de água nos *Ferralsols* e *Nitosols*, pois nesses solos predominam argilominerais do tipo 1:1 e óxidos, enquanto que nos *Cambisols* e *Acrisols* predominam argilominerais do tipo 2:1. Outra diferença observada foi quanto à classe dos Neossolos Quartzarênicos, os quais tiveram conteúdo de água disponível semelhante a outras classes de solos, como aquela obtida nos Latossolos, Nitossolos, Chernossolos e Argissolos, tanto em horizontes superficiais como em subsuperficiais de solos catarinenses. Por outro lado, as FPTs sugeridas por BATJES (1996) indicam que os solos correspondente a essa classe, denominados de *Arenosols* no mapa da FAO (1991), possuem cerca de 1/2 da AD ($AD = 0,04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) observada nos Neossolos Quartzarênicos de SC. Essa maior disponibilidade de água nos solos arenosos catarinenses pode estar relacionada principalmente com os teores de areia fina desses solos, os quais variaram de 681 a 783 g kg^{-1} , e tiveram um efeito direto positivo no aumento da disponibilidade de água dos solos. No estudo de BATJES (1996), o autor não informou o teor de cada uma cinco frações de areia, o que dificultou a confirmação dessa hipótese. O aumento da disponibilidade de água com a redução de tamanho das partículas da areia também foi constatado por ALBUQUERQUE *et al.* (2011), que estudaram a retenção e a disponibilidade de água em cinco solos arenosos artificialmente construídos exclusivamente por cada uma das cinco classes de areia (USDA, 1993), e observaram que a redução do tamanho das partículas de areia resulta em maior elevação da CC, em comparação com aquela observada para o PMP.

Não foram encontrados estudos na literatura nacional comparando a retenção e disponibilidade de água em solos agrupados por classe de solo utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

4.2.4 Retenção e disponibilidade de água *versus* regiões geográficas

A geração de informações sobre a retenção e disponibilidade de água por regiões geográficas, permite criar políticas públicas regionalizadas, especialmente àquelas ligadas aos programas governamentais relacionados com as questões agrícolas, como o zoneamento agroclimático e o seguro agrícola.

Nos solos catarinenses, as maiores CCs e PMPs nos horizontes superficiais ocorreram em solos das regiões Meio Oeste e Oeste, Planalto Serrano, Encostas Basálticas e Vale do Itajaí; os solos da Serra Leste tiveram CC e PMP intermediários e as menores umidades na CC e no PMP ocorreram em solos de depósitos aluvionares recentes ou areias litorâneas (**Tabela 40**). Nos horizontes subsuperficiais, a única alteração na ordem de redução da CC e PMP em relação aos horizontes superficiais ocorreram entre os solos do Vale do Itajaí e do Planalto Catarinense, já que o acréscimo no teor de argila em profundidade nos solos do Vale do Itajaí (**Tabela 42**) aumentou a retenção de água na CC e no PMP nos horizontes subsuperficiais, e estes processos pedogenéticos foram menos acentuados na formação de solos do Planalto Catarinense. Maiores detalhes sobre a disponibilidade e retenção de água das unidades de mapeamento que constituíram as unidades médias da CC e PMP e também do conteúdo médio de AD obtido em cada região podem ser visualizadas nos **ANEXOS 1, 2 e 3**.

A utilização da distribuição granulométrica e do teor de COT, para analisar a umidade na CC e no PMP, mostrou que o conteúdo de argila do solo não foi o principal responsável pelo aumento da retenção de água nos horizontes superficiais (**Tabela 42**), pois, embora o teor de argila tenha variado em até 360 g kg^{-1} entre os solos do Oeste e Meio Oeste, comparados com os solos do Vale do Itajaí, a CC e o PMP não diferiu. A igualdade entre esses dois atributos também ocorreu entre nos horizontes superficiais dos solos do Oeste e Meio Oeste com aqueles localizados nas Encostas Basálticas e no Planalto Serrano, nos quais a diferença no teor médio de argila foi de 220 e 290 g kg^{-1} , respectivamente. Por isso, as elevadas CCs e PMPs dos solos podem estar relacionadas com os teores médios de silte, que variaram entre 278 e 413 g kg^{-1} nos solos dessas quatro regiões, bem como também ao elevado teor de MO, que variaram entre 41 e 71 g kg^{-1} , e ao próprio teor de argila, pois a classe textural nos horizontes superficiais em solos dessas quatro regiões variou entre muito argilosa a franca.

Nos horizontes subsuperficiais, a CC e o PMP também não diferiram entre os solos dessas quatro regiões, embora o teor médio de argila variasse em até 244 g kg^{-1} . Assim, a elevada retenção de água nesses solos também pode estar relacionada com os teores de silte, que variaram entre 217 e 289 g kg^{-1} , de MO, que variaram entre 14 e 22 g kg^{-1} e podem ser considerados elevados para horizontes subsuperficiais do solo, e

também aos elevados teores de argila, pois a classe textural média dos solos dessas quatro regiões variou apenas entre muito argilosa a argilosa.

As menores CCs e PMPs observadas em solos da Serra Leste e, principalmente do Litoral Catarinense, estão relacionadas aos maiores teores de areia desses solos em relação aos observados nas regiões Oeste e Meio Oeste, Planalto Serrano, Encostas Basálticas e Vale do Itajaí. A menor retenção de água em solos mais arenosos (classes areia e areia franca) também foi observada por REICHERT *et al.* (2009) em solos do Estado do Rio Grande do Sul.

A AD nos horizontes superficiais variou de 0,09 a 0,17 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ entre as regiões analisadas, equivalente a uma diferença de 0,08 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ o que representa um acréscimo de 90 % sobre a menor AD observada (**Tabela 41**). A maior disponibilidade de água nos horizontes superficiais ocorreu em solos do Planalto Serrano, com AD média de 0,17 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Nas demais regiões a AD pode ser considerado semelhante, abrangendo o intervalo de 0,09 até 0,13 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Nos horizontes subsuperficiais, a AD não diferiu entre os solos de diferentes regiões, pois a amplitude da AD foi de apenas 0,02 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, e pode-se considerar que existe uma AD média igual a 0,10 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ nos horizontes subsuperficiais de solos de de SC.

A AD foi maior nos horizontes superficiais dos solos do Planalto Serrano devido à combinação de dois atributos importantes para a disponibilidade de água no solo, que foram o maior teor médio MO e à distribuição granulométrica mais equilibrada, em comparação àqueles observados em horizontes de solos das demais regiões do Estado.

Tabela 40. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados por região geográfica do Estado de Santa Catarina, 2012.

Região	CC	ep*	Região	PMP	ep
Horizonte Superficial					
Meio-Oeste e Oeste	0,49	a**	Meio-Oeste e Oeste	0,35	a
Planalto Serrano	0,48	a	Encostas Basálticas	0,33	a
Encostas Basálticas	0,45	a	Planalto Serrano	0,32	a
Vale do Itajaí	0,43	ab	Vale do Itajaí	0,31	ab
Serra Leste	0,35	b	Serra Leste	0,22	b
Areias Litorâneas	0,16	c	Areias Litorâneas	0,07	c
Horizonte Subsuperficial					
Meio-Oeste e Oeste	0,52	a	Meio-Oeste e Oeste	0,43	a
Encostas Basálticas	0,52	a	Encostas Basálticas	0,42	ab
Vale do Itajaí	0,50	a	Vale do Itajaí	0,40	ab
Planalto Serrano	0,46	ab	Planalto Serrano	0,36	bc
Serra Leste	0,40	b	Serra Leste	0,30	c
Areias Litorâneas	0,20	d	Areias Litorâneas	0,10	d

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as litologias em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

Tabela 41. Conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados por região geográfica do Estado de Santa Catarina, 2012.

Região	AD	ep*	Região	AD	ep
Horizonte Superficial			Horizonte Subsuperficial		
Planalto Serrano	0,17	a**	Planalto Serrano	0,11	ns
Vale do Itajaí	0,13	b	Areias Litorâneas	0,10	
Serra Leste	0,12	b	Serra Leste	0,10	
Encostas Basálticas	0,12	b	Vale do Itajaí	0,10	
Meio-Oeste e Oeste	0,12	b	Encostas Basálticas	0,09	
Areias Litorâneas	0,09	b	Meio-Oeste e Oeste	0,09	

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as litologias em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

Tabela 42. Número de perfis (n), Altitude média (m), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para os teores de argila, silte, areia e matéria orgânica (MO) na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solos agrupados por região geográfica no Estado de Santa Catarina, 2012.

	nº	Altitude	Argila		Silte		Areia		MO	
Tipo de Solo			Teor	ep*	Teor	ep	Teor	ep	Teor	ep
Horizonte Superficial										
Oeste e Meio Oeste	31	980	641	40	296	32	63	43	53	9
Encostas Basálticas	19	611	419	40	413	32	168	43	48	9
Planalto Serrano	15	1056	354	47	278	37	367	50	71	10
Vale do Itajaí	8	174	283	54	309	43	408	58	41	12
Serra Leste	12	265	245	59	223	47	532	64	24	14
Litoral	5	23	37	76	20	61	943	82	12	17
Horizonte Subsuperficial										
Oeste e Meio Oeste	31	957	710	40	235	25	55	36	22	2
Encostas Basálticas	22	630	603	42	289	26	108	37	17	2
Vale do Itajaí	20	146	509	54	217	33	274	48	14	2
Planalto Serrano	15	1039	466	54	230	33	305	48	19	2
Serra Leste	15	271	409	59	186	36	405	53	14	2
Litoral	7	27	40	76	26	47	933	68	7	3

* ep: erro padrão em g kg^{-1}

Em Santa Catarina, uma das principais formações rochosas é a Serra Geral, que cobre aproximadamente 51% do território catarinense (UFSM e SUDESUL, 1972; SANTA CATARINA, 1991), a qual formou-se entre o período Jurássico e Cretáceo (entre 65 a 190 milhões de anos atrás) constituindo-se da mais intensa atividade vulcânica já conhecida e ocorreu sob a forma de abertura de geoclases gigantescas que extravasaram derrames de lava por toda a bacia do Paraná (MENDES e PETRI, 1975; CASTRO, 1994). Como o vulcanismo não ocorreu de forma homogênea, ocorrem desde rochas tendendo a ácida até rochas básicas (MENDES e PETRI, 1975; SARTORI e GOMES, 1980). As rochas ácidas se encontram nas áreas mais planas, na unidade geomorfológica conhecida por Planalto dos Campos Gerais, enquanto que as básicas ocorrem nas encostas e fundo dos vales, na unidade geomorfológica conhecida por Planalto Dissecado do Rio Iguaçu/Rio Uruguai (SANTA CATARINA, 1986 e 1991).

A separação dos perfis de solos localizados no Meio Oeste e Oeste Catarinense, os quais se originaram sobre a formação Serra Geral, dividindo-se estes em dois grupos: Encostas Basálticas (solos do Planalto Dissecado do Rio Iguaçu/Rio Uruguai) ou Meio Oeste e Oeste (solos dos Planaltos dos Campos Gerais), devia-se à idéia inicial que os solos destes grupos poderiam ter retenção e disponibilidade de água diferentes devido ao maior percentual de argilominerais do tipo 2:1 observados em solos das encostas basálticas (CORRÊA, 2003), em relação aos demais solos coletados em relevos mais

planos, agrupados como “Meio-Oeste e Oeste” (ALMEIDA, TORRENT e BARRÓN, 2003; EMBRAPA & EPAGRI, 2008). Entretanto, para ambos os horizontes, a CC, o PMP e a AD não diferiram entre os solos dessas regiões. A ausência de resposta ao aumento da retenção de água que deveria ocorrer devido ao maior percentual de argilominerais do tipo 2:1 nos solos das Encostas Basálticas pode estar relacionada ao efeito positivo do teor de argila sobre a retenção de água, a qual foi maior em solos “Meio-Oeste e Oeste”, e compensou a menor retenção de água dos solos mais caulínitos.

Embora, a retenção e a disponibilidade de água tenham diferido entre os solos das regiões catarinenses é importante lembrar que algumas regiões são compostas por uma grande diversidade de formações geológicas, que resultaram na formação de solos muito distintos quanto as suas propriedades e atributos dentro de uma mesma região, principalmente na Serra Leste e Vale do Itajaí (DNPM, 1987; EMBRAPA, 2004). Assim, a atuação dos fatores de formação do solo resultaram em CC, PMP e AD muito diferentes entre solos de mesma regiões (ANEXOS 1, 2 e 3). Além disso, faz-se necessária a realização de mais estudos para determinação dos atributos relacionados à retenção e disponibilidade de água em outras unidades de mapeamento, visto que este estudo, por ser pioneiro em solos do Estado, não possibilitou o estudo de todas as classes de solos existente em Santa Catarina (EMBRAPA, 2004). Por isso, os resultados observados e discutidos nesse item devem ser analisados com cuidado quanto a sua utilização.

4.2.5 Retenção e disponibilidade de água *versus* tipo de solo – IN 2/2008 do MAPA

No Brasil, desde 1996 foi implantado o zoneamento de risco agroclimático, o qual indica o local e o período de semeadura/plantio das culturas em cada município brasileiro, baseado em modelos de simulação de processos na relação solo-clima-planta (CUNHA e ASSAD, 2001). O zoneamento foi criado com o intuito de reduzir o número de sinistros por perda de produtividade dos cultivos agrícolas segurados pelo PROAGRO (Programa de Garantia da Atividade Agropecuária), um seguro agrícola subsidiado pelo Governo Federal (ASSAD, 2004) (ASSAD, 2004). Segundo esse modelo, o solo atua como um reservatório de água e os parâmetros que exercem maior

influência sobre a capacidade de armazenamento de água são a profundidade e a textura do solo.

As culturas agrícolas com custeio financiado pelas instituições financeiras do país podem ser amparadas pelo PROAGRO desde que atendam algumas exigências. As portarias publicadas pelo MAPA proíbem o plantio de culturas nas seguintes condições: em áreas de preservação obrigatória, de acordo com a Lei 4.771 do Código Florestal; em solos que apresentem teor de argila inferior a 100 g kg^{-1} nos primeiros 50 cm de solo; em solos que apresentem profundidade inferior a 50 cm; em solos que se encontram em áreas com declividade superior a 45 %; e em solos muito pedregosos, isto é, solos nos quais calhaus e matacões (diâmetro superior a 2 mm) ocupam mais de 15 % da massa e/ou da superfície do terreno (REICHERT *et al.*, 2011). Além dessas proibições, outra instrução normativa agrupa os solos em três tipos, em função da sua textura até aos 50 cm de profundidade (BRASIL, 2008). Segundo a IN 2/2008 do MAPA, os solos agrícolas podem ser classificados como: Tipo 1, para solos de textura arenosa, com teor mínimo de 100 g kg^{-1} de argila e menor do que 150 g kg^{-1} ou com teor de argila igual ou superior a 150 g kg^{-1} , nos quais a diferença entre os teores de areia e de argila seja superior ou igual a 500 g kg^{-1} ; Tipo 2, para solos de textura média, com teor entre de 150 a 350 g kg^{-1} de argila, nos quais a diferença entre os teores de areia e de argila seja inferior do que 500 g kg^{-1} e; Tipo 3, para solos de textura argilosa, com teor de argila superior ou igual a 350 g kg^{-1} .

A divisão da textura do solo em três tipos teve por objetivo principal classificar os solos quanto à disponibilidade de água, partindo do pressuposto que solos classificados dos Tipos 2 e 3 disponibilizam maior conteúdo de água disponível do que solos do Tipo 1 ou sem tipificação. Pela instrução normativa, os financiamentos de custeio agrícola de cultivos em solos Tipo 1 ou sem tipificação não podem ser segurados pelo PROAGRO. O zoneamento de cada cultura é realizado em estudos independentes para cada Estado Brasileiro e leva em consideração dois parâmetros: (1) capacidade de água disponível (CAD) para os solos tipo 1, 2 e 3, calculada pela multiplicação do conteúdo de água disponível pela profundidade efetiva do sistema radicular das culturas; e (2) índice de satisfação da necessidade de água (ISNA), calculado em programas específicos e definido como a relação existente entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima da cultura.

REICHERT *et al.*, (2011) fizeram uma ampla revisão sobre este assunto e observaram que não houve uma padronização para CAD, nem entre os Estados ou entre a mesma cultura em diferentes Estados. Ou seja, em cada estudo se utiliza um conteúdo de água disponível ou uma profundidade efetiva diferente para os tipos de solo. A definição desses dois parâmetros foi geralmente baseada na opinião dos autores dos estudos de zoneamento para cada cultura e região, e não em estudos científicos que possibilitassem utilizar valores mais próximos das condições reais de cada cultura e local. Uma das causas dessa arbitrariedade pode estar relacionada com a falta de estudos sobre a retenção e disponibilidade de água dos solos existentes em cada Estado Brasileiro.

No Estado de Santa Catarina há carência de informações sobre retenção e disponibilidade de água que permita analisar se a classificação proposta pela IN 2/2008 (BRASIL, 2008) é adequada. Com isso, a umidade na CC, no PMP e a AD foram calculadas para cada tipo de solo definido pela IN 2/2008, considerando os horizontes superficiais, subsuperficiais e, também, conforme é sugerido na coleta para análise do tipo de solo, para a camada de 0-50 cm de profundidade. Como alguns perfis de solos tiveram teores de argila inferiores a 100 g kg^{-1} , o que impossibilitou que esses fossem classificados quanto a IN 2/2008, eles foram denominados de “SEM TIPO DEFINIDO” na apresentação e discussão dos resultados.

A umidade na CC e no PMP diferiram entre os tipos de Solo (**Tabela 43**). Nos horizontes superficiais, a retenção de água na CC variou de 0,21 até $0,50 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e o PMP variou de 0,10 até $0,37 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. A CC e o PMP foram mais elevados nos solos de textura argilosa (Tipo 3), intermediárias em solos em horizontes com textura média (Tipo 2) e menor em solos de textura arenosa (Tipo 1) e sem tipo definido. Nos horizontes subsuperficiais, a CC e o PMP tiveram a mesma tendência e foram muitos semelhantes àquelas dos horizontes superficiais.

Na média, comparando os solos do Tipo 3 com os Tipo 2, o teor de argila reduziu entre 300 a 330 g kg^{-1} (**Tabela 36**) e a umidade na CC e no PMP diminuiu $0,08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nos horizontes superficiais e $0,11 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nos subsuperficiais. Nos horizontes superficiais dos solos Tipo 2 e 1, embora a redução do teor de argila seja menor (130 g kg^{-1}) (**Tabela 45**), a umidade na CC e no PMP diminuiu $0,18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. A menor diferença da retenção de água entre os solos Tipo 3 do Tipo 2 pode estar relacionada a maior retenção de água pelos elevados teores de silte do solo, os quais

foram maiores nos solos do Tipo 2, já que o teor de MO foi semelhante. Enquanto que, os solos Tipo 1 têm baixos teores de silte e de MO e elevados teores de areia, o que implicou em uma baixa retenção de água e maior diferença em relação ao Tipo 2.

Apesar das diferenças observadas na retenção de água na CC e no PMP, a AD nos horizontes superficiais não diferiu estatisticamente entre os tipos de solos, embora tenha variado entre 0,11 a 0,14 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Assim, pode-se afirmar que nos solos de SC existe um conteúdo de água disponível média de 0,13 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (Tabela 44). Nos horizontes subsuperficiais, a AD diferiu apenas entre os solos do Tipo 2 e 3, sendo menor em Solos do Tipo 3. Os solos do Tipo 1 ou Sem Tipo Definido tiveram AD intermediários. Embora tenha diferido estatisticamente nos horizontes subsuperficiais, a amplitude da AD foi somente de 0,02 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, variando de 0,09 até 0,11 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ entre os tipos de solos.

Pode-se afirmar que a maior retenção de água na CC e no PMP em solos do Tipo 2 ou 3 (textura média ou argilosa) não significa que disponibilizam mais água para as plantas em comparação ao disponibilizado pelos solos do Tipo 1, e esta afirmação é válida para os horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos catarinenses.

Tabela 43. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados por Tipo de Solo utilizando a IN 2/2008 do MAPA em solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Tipo de Solo	CC	ep*	Classe Textural	PMP	ep
Horizonte Superficial					
Tipo 3	0,50 a*	0,02	Tipo 3	0,37 a	0,01
Tipo 2	0,43 b	0,02	Tipo 2	0,28 b	0,02
Tipo 1	0,24 c	0,05	Tipo 1	0,13 c	0,04
Sem tipo definido	0,21 c	0,04	Sem tipo definido	0,10 c	0,03
Horizonte Subsuperficial					
Tipo 3	0,51 a	0,01	Tipo 3	0,42 a	0,01
Tipo 2	0,41 b	0,02	Tipo 2	0,30 b	0,02
Tipo 1	0,24 c	0,06	Tipo 1	0,14 c	0,05
Sem tipo definido	0,20 c	0,03	Sem tipo definido	0,10 c	0,03

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as litologias em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

Tabela 44. Conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes agrupados por Tipo de Solo, utilizando a IN 2/2008 do MAPA em solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Tipo de Solo	AD	ep*	Tipo de Solo	AD	ep
Horizonte Superficial			Horizonte Subsuperficial		
Tipo 2	0,14 a*	0,01	Tipo 2	0,11 a	0,01
Tipo 3	0,13 a	0,01	Sem tipo definido	0,10 ab	0,01
Sem tipo definido	0,11 a	0,02	Tipo 1	0,09 ab	0,02
Tipo 1	0,11 a	0,02	Tipo 3	0,09 b	0,00

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as litologias em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

Tabela 45. Número de horizontes (n.), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para argila, silte, areia e matéria orgânica (MO) em solos agrupados por Tipo de Solo (IN 2/2008 do MAPA) no Estado de Santa Catarina, 2012.

Tipo de Solo	Argila			Silte		Areia		MO	
	n.	Teor	ep*	Teor	ep	Teor	ep	Teor	ep
Horizonte superficial									
Tipo 3	53	556	20	311	20	130	17	53	7
Tipo 2	24	259	26	365	26	425	32	55	9
Tipo 1	7	138	58	101	57	761	96	16	21
Sem tipo definido	6	66	51	47	50	933	55	14	17
Horizonte Subsuperficial									
Tipo 3	87	631	17	240	15	130	17	19	2
Tipo 2	15	298	32	276	30	425	32	17	2
Tipo 1	1	163	98	77	90	761	96	7	7
Sem tipo definido	7	41	55	26	51	933	55	7	3

* ep: erro padrão em g kg^{-1}

Embora a AD observada nos horizontes superficiais e subsuperficiais dos solos de SC tenham sido muito parecidos entre os quatro tipos de solos, também foram realizadas as mesmas análises dos atributos físicos do solo, considerando a AD na camada de 0-50 cm de profundidade, seguindo a recomendação da coleta das amostras de solos pelo MAPA. Para obtenção da CC, PMP e AD, nessa camada, foi calculada a média ponderada de cada um desses atributos nos horizontes presentes até 50 cm de profundidade em cada perfil de solo.

A comparação dos resultados apresentados nas **Tabela 46** e **Tabela 47** com aqueles das **Tabela 43** e **Tabela 44**, confirmam que a CC e o PMP na camada de 0-50 cm dos solos catarinenses foram muito parecidos com aqueles observados nos horizontes superficiais e subsuperficiais do solo, decrescendo na seguinte ordem: Tipo 3, Tipo 2, Tipo 1 e Sem tipo definido. Quanto a AD, os tipos de solos não diferiram entre si, com conteúdo médio de $0,12 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$, embora os conteúdos médios

tenham variado entre 0,09 a 0,13 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, o que indica alta variabilidade entre os perfis dentro de um mesmo tipo de solo.

Como os estudos de zoneamento das culturas agrícolas utilizam a disponibilidade expressa pela capacidade de água disponível (CAD), a qual é obtida multiplicando-se o conteúdo de água disponível pela profundidade do solo (0-50 cm), foi calculado o CAD para a camada de 0-50 cm de profundidade. Como o conteúdo médio de água disponível obtido nos solos dos Tipos 1, 2 e 3 foi de 0,12 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, obteve-se um CAD médio de 61 mm para solos catarinenses (**Tabela 47**).

Tabela 46. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solos agrupados por Tipo de Solo utilizando a IN 2/2008 do MAPA em solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Tipo de Solo	CC	ep*	Classe Textural	PMP	ep
Tipo 3	0,49 a*	0,01	Tipo 3	0,37 a	0,01
Tipo 2	0,41 b	0,01	Tipo 2	0,28 b	0,01
Tipo 1	0,24 c	0,03	Tipo 1	0,13 c	0,02
Sem tipo definido	0,16 d	0,03	Sem tipo definido	0,07 c	0,02

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as litologias em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

Tabela 47. Conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e capacidade de água disponível (CAD, mm) na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solos agrupados por Tipo de Solo utilizando a IN 2/2008 do MAPA em solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Classe Textural	CC	ep*	CAD (0-50 mm)
Tipo2	0,13 a*	0,01	64
Tipo3	0,12 a	0,01	61
Tipo1	0,12 a	0,02	58
Sem tipo definido	0,09 a	0,02	47

* ep: erro padrão em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. ** Letras minúsculas comparam as litologias em cada horizonte através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

Tabela 48. Número perfis (n), teores médios (g kg^{-1}) e erro padrão da estimativa (g kg^{-1}) para argila, silte, areia e matéria orgânica (MO) na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solos agrupados por Tipo de Solo (IN 2/2008 do MAPA) no Estado de Santa Catarina, 2012.

Tipo de Solo	n.	Argila	ep*	Silte	ep	Areia	EP	MO	ep
Tipo 3	24	575	19	305	18	121	20	45	2
Tipo 2	12	290	27	330	26	380	28	28	2
Tipo 1	3	131	53	101	52	769	56	16	7
Sem tipo definido	3	35	53	22	52	947	56	10	10

* ep: erro padrão em g kg^{-1}

Apesar da importância do assunto para a agricultura brasileira, não foram encontrados na literatura nacional estudos que relacionem os tipos de solos, classificados segundo a IN 2/2008 do MAPA (BRASIL, 2008), com a disponibilidade de água. REICHERT *et al.*, (2011) fizeram uma revisão sobre a disponibilidade de água em solos brasileiros e também não encontraram estudos específicos com essa finalidade. Ressaltaram que os dados ou os estudos que originaram a classificação do MAPA basearam-se em uma função de pedotransferência com poucos solos, proposta por ASSAD *et al.* 2001, os quais avaliaram a disponibilidade de água utilizando principalmente solos dos Estados de Minas Gerais e São Paulo e propuseram uma função de pedotransfência (FPT) para estimativa do conteúdo de água disponível baseada numa relação cúbica com os teores de areia do solo. Entretanto, ASSAD *et al.*, (2001) concluíram em seu estudo que a capacidade preditiva da FPT para estimativa do conteúdo de água foi pequena. Além disso, a IN 2/2008 do MAPA (BRASIL, 2008) está baseada principalmente nos teores de argila do solo, e não de areia, o que aumenta as incertezas quanto à estimativa da disponibilidade de água para os diferentes tipos de solo.

A classificação da disponibilidade de água para as plantas utilizando somente o teor de argila é inconsistente para solos de Santa Catarina, pois o teste de médias utilizado indicou que não existem diferenças para a AD entre os três Tipos de Solos estabelecidos na IN 2/2008 do MAPA (BRASIL, 2008). Além desse teste, realizou-se uma análise de regressão entre a AD e o teor de argila dos solos catarinenses para a camada de 0-50 cm de profundidade e obteve um índice de determinação igual a 0,01 no ajuste de uma equação linear ($a+bx$), de 0,06 para uma equação inversa de primeiro grau ($a+b/x$) e de 0,13 no ajuste de uma equação quadrática ($a+bx+cx^2$). Ou seja, o teor de argila conseguiu explicar no máximo 13 % da variabilidade do conteúdo de água disponível dos solos catarinenses, o que não justifica a tipificação do solo utilizada por essa instrução normativa.

Embora a AD não tenha diferido entre os Tipos de Solos, o efeito do teor de argila sobre a disponibilidade de água para as plantas poderia estar correlacionado com a velocidade de reposição de água no solo para as raízes das plantas à medida que a umidade do solo se aproxima do PMP, pois a CC e o PMP diferiram entre os quatro tipos de solos. Para elucidar essa dúvida, fez-se a estimada da condutividade hidráulica em solo não saturado, através da equação de van GENUCHTEN (1980), na média das

unidades de mapeamento em cada tipo de solo. A estimativa da condutividade hidráulica relativa em solo não saturado foi obtida a partir dos parâmetros da equação que estima a curva de retenção de água proposta por van GENUCHTEN (1980), apresentada na **Figura 9**. Para obtenção dos parâmetros θ_r , α e n das equações foi utilizado o procedimento *Proc Nlin* disponível no software SAS 9.2 (SAS INSTITUTE INC., 2010), o parâmetro m foi obtido pela relação $m = 1 - (1/n)$, baseado no critério de Mualen (MUALEM, 1976), o que possibilitou estimar a condutividade hidráulica relativa em solo não saturado pela equação apresentada na **Figura 10**.

As curvas de retenção de água diferiram principalmente quanto aos parâmetros θ_s e θ_r , os quais aumentaram com o teor de argila do solo, sendo menores nos solos classificados como Sem tipo definido e maiores nos do Tipo 3. Nos solos Sem tipo definido observou-se o menor parâmetro α , o que resultou em uma elevada perda de água quando esse tipo de solo foi submetido às pequenas sucções. A causa desse rápido decréscimo de umidade do solo está ligada aos elevados teores de areia (acima de 900 g kg⁻¹) e consequentemente, de poros de maior diâmetro em comparação aos tipos de solo 1, 2 e 3. Nesse tipo de solo também foram maiores os parâmetros n e m , os quais são respectivamente os principais responsáveis pela inclinação e pelo formato final da curva de retenção. Os maiores valores de n indicam que a umidade desses solos decresce mais rapidamente até atingir o limite inferior da curva (θ_r) do que nos demais tipos de solo, enquanto os maiores valores de m indicam maior grau de inflexão na parte final da curva de retenção, quando a umidade do solo se aproxima da θ_r .

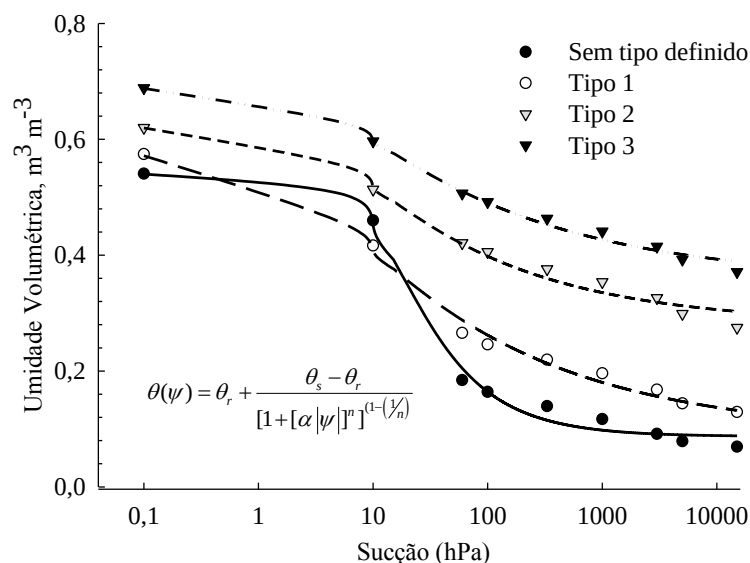
Quanto à comparação entre os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) para os solos dos Tipos 1, 2 e 3, embora as umidades dos solos na saturação e residuais sejam distintas, os parâmetros n e m foram semelhantes. Apenas observaram-se mudanças significativas para o parâmetro α , o qual foi maior em solos do Tipo 2, o que resultou em menor perda de umidade quando esse tipo de solo é submetido às pequenas sucções em comparação às perdas nos solos dos Tipos 2 e 3. A influência dos parâmetros θ_s , θ_r , α , n e m sobre a curva de retenção de água na camada de 0-50 cm dos diferentes tipos de solos podem ser visualizados na **Figura 9**.

A pequena diferença dos parâmetros α , n e m entre os solos dos tipos 2 e 3 resultou em curvas de condutividade hidráulica não saturada (K_r) muito semelhantes entre esses Tipos de solo (**Figura 10**). Em relação aos solos do Tipo 1, a K_r foi menor em todas as sucções entre 1 e 1.500 kPa, em relação aos solos dos Tipos 2 e 3, com uma

diferença média de 0,0021 na CC e de $4,3 \cdot 10^{-12}$ no PMP. Embora, a diferença pareça pequena analisando-se as curvas visualmente (**Figura 10**), a Kr na CC dos solos do Tipo 1 é semelhante a Kr solos do Tipo 2 e 3 quando esses são submetidos a uma sucção de 15 kPa, ou seja uma diferença de 5 kPa. A Kr no ponto de murcha permanente (1.500 kPa) dos solos do Tipo 1 só é atingida em solos do Tipo 2 quando esses são submetidos a uma sucção de 1.850 kPa e do Tipo 3 em uma sucção de 2.400 kPa, o que corresponde a uma diferença de 350 e 900 kPa a mais de sucção, respectivamente. Quanto aos solos sem tipo definido, a condutividade hidráulica não saturada (Kr) foi maior até quando eles foram submetidos a uma sucção de aproximadamente 20 kPa em comparação a Kr nos solos do Tipo 1 e a uma sucção de 30 kPa para solos dos Tipos 2 e 3. A partir dessas sucções, a Kr decresceu mais rapidamente nesses solos e no PMP foi aproximadamente $5 \cdot 10^{-12}$ menor em relação aos solos dos Tipos 1, 2 e 3.

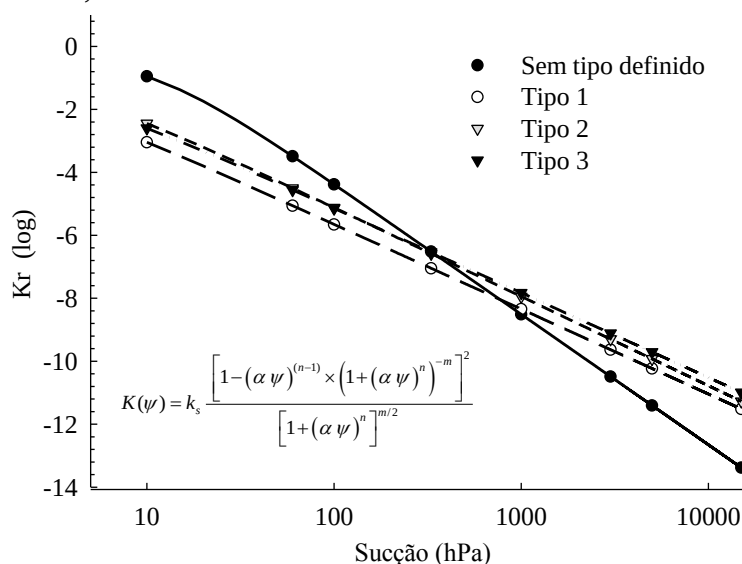
A análise da condutividade hidráulica não saturada (Kr) mostrou ser mais importante na diferenciação dos Tipos de Solos utilizando a IN 2/2008 do MAPA (BRASIL, 2008), utilizando como base a retenção de água na camada de 0-50 cm em solos do Estado de Santa Catarina, do que a utilização da AD, o qual não diferiu entre os tipos de solo. Baseado nos resultados observados para a Kr, faz-se possível afirmar que solos Sem tipo definido ou do Tipo 1 podem perfeitamente atender à demanda hídrica das culturas agrícolas desde que a umidade do solo se mantenha mais elevada. Contudo, os cultivos nesses solos estariam mais sujeitos a perdas de produtividade em casos de estiagem, principalmente em solos da classe Sem tipo definido, os quais já são considerados por lei como área de preservação permanente.

Sugere-se a realização de novos estudos com solos localizados em outras unidades da federação para confirmar se os resultados da Kr observados em solos de Santa Catarina são válidos para todo o território nacional. Desse modo, pode-se substituir o atual uso da “capacidade de água disponível” por outro atributo do solo relacionado à condutividade hidráulica não saturada em estudos de definição do zoneamento agroclimático das culturas agrícolas.



Parâmetros da Equação					
Tipo de Solo	θ_s (cm³ cm⁻³)	θ_r (cm³ cm⁻³)	α (cm)	n	m
Sem tipo definido	0,54	0,09	0,08	1,857	0,461
Tipo 1	0,57	0,09	0,40	1,278	0,218
Tipo 2	0,62	0,28	0,24	1,332	0,249
Tipo 3	0,69	0,35	0,26	1,275	0,216

Figura 9. Curva de retenção de água e parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980), na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solo agrupados por Tipo de Solo (IN 2/2008 do MAPA) no Estado de Santa Catarina, 2012.



Condutividade hidráulica não saturada, log (Kr)								
Tipo de Solo	10*	60	100	330	1.000	3.000	5.000	15.000
Sem tipo definido	-0,9	-3,5	-4,4	-6,5	-8,5	-10,5	-11,4	-13,4
Tipo 1	-3,0	-5,1	-5,7	-7,0	-8,3	-9,6	-10,2	-11,5
Tipo 2	-2,4	-4,5	-5,1	-6,6	-7,9	-9,3	-9,9	-11,3
Tipo 3	-2,6	-4,6	-5,1	-6,5	-7,8	-9,1	-9,7	-11,0

Figura 10. Curva da condutividade hidráulica relativa estimada pelo modelo de van GENUCHTEN (1980), na camada de 0-50 cm de profundidade para perfis de solo agrupados por Tipo de Solo (IN 2/2008 do MAPA) no Estado de Santa Catarina, 2012. * sucção em hPa.

4.2.6 Considerações finais

Solos catarinenses de classes texturais contrastantes, com elevados teores de argila ou de areia, disponibilizam o mesmo conteúdo de água disponível para as plantas, embora solos arenosos tenham uma capacidade de campo equivalente a aproximadamente 1/3 daquela observada em solos argilosos.

Em solos catarinenses, os maiores conteúdos de água disponível ocorrem com textura franca que possuem elevados teores de silte, argila e MO e a menor disponibilidade ocorre em solos de classe textural areia.

A litologia dos solos catarinenses influencia a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e o conteúdo de água disponível devido ao seu efeito sobre a distribuição do tamanho de partículas, o que resulta em: maior retenção de água em solos derivados de rochas ígneas extrusivas da Formação Serra Geral, metamórficas, ígneas intrusivas e sedimentares de textura fina; retenção intermediária nos solos derivados de rochas sedimentares de textura média; e menor nos solos derivados de rochas ou depósitos sedimentares ricos em quartzo. Quanto à disponibilidade de água, o maior conteúdo de água disponível ocorre em solos derivados de siltitos e o menor em solos derivados de granito e de depósitos aluvionares atuais.

Quando as unidades de mapeamento foram agrupadas por classes de solos (subordens), a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foram maiores nos Cambissolos (especialmente nos Húmicos), Nitossolos e Latossolos; intermediária nos Argissolos, Neossolos Litólicos e Chernossolos; e menor nos Neossolos Quartzarênicos. Os Cambissolos Húmicos e os Neossolos Litólicos, localizados no Planalto Serrano de Santa Catarina, tiveram maior disponibilidade de água, principalmente devido aos elevados teores de matéria orgânica, a qual se acumulou pelo efeito do clima mais frio predominante no Planalto Catarinense.

Os solos do Meio Oeste e Oeste, Planalto Serrano, Encostas Basálticas e Vale do Itajaí possuem elevada capacidade de campo e ponto de murcha permanente, enquanto que os solos da Serra Leste tem retenção intermediária e aqueles do Litoral têm menor retenção. A disponibilidade de água difere apenas nos horizontes superficiais, onde os solos do Planalto Serrano possuem maior conteúdo de água disponível em relação às demais regiões, as quais não diferem entre si.

A instrução normativa n. 2/2008 do MAPA (BRASIL, 2008), que divide os solos nacionais em três tipos baseados nos seus teores de argila do solo, não é adequada para separação dos solos catarinenses quanto ao seu conteúdo de água disponível, pois, segundo os estudos de zoneamento agroclimático de culturas publicados até 2011, os solos do Tipo 1 possuem menor disponibilidade de água em relação àqueles dos Tipos 2 e 3. Essa diferença no conteúdo de água disponível entre os tipos de solo não é observada em solos catarinenses. Entretanto, quando a condutividade hidráulica em solo não saturado é analisada, esse atributo do solo foi menor nos solos do Tipo 1, independentemente da sucção aplicada, o que indica que esses solos podem não atender adequadamente a demanda hídrica das plantas sob estiagem, em comparação a solos dos Tipos 2 e 3.

4.3 ESTUDO 3: AVALIAÇÃO DE FPTs DA LITERATURA

Na primeira parte deste capítulo, com base nos indicadores estatísticos foi discutida a capacidade preditiva das FPTs, separando-as por horizontes, superficiais ou subsuperficiais. Ainda, dentro de cada horizonte, as FPTs foram agrupadas pela unidade de medida, umidade gravimétrica ou volumétrica; e dentro de cada unidade de medida, elas foram agrupadas com base na sucção em que a umidade do solo foi estimada.

Na segunda parte deste capítulo foi realizada a discussão dos dados, com as explicações das causas para as diferenças da capacidade preditiva entre as FPTs avaliadas. E, também, a confrontação dos resultados observados com aqueles publicadas na literatura.

4.3.1 Estimativa da retenção de água nos horizontes superficiais por funções de pedotransferência publicadas da literatura

Umidade gravimétrica a 10 kPa

A estimativa da umidade gravimétrica dos horizontes superficiais do solo na sucção de 10 kPa, através de duas FPTs propostas por REICHERT *et al.* (2009), foi melhor quando o modelo completo foi utilizado, em relação ao modelo simplificado (**Figura 11; Tabela 49 e Tabela 50**). No caso do modelo completo, o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,67$) obtido entre a umidade medida e a estimada (**Tabela 49**) foi semelhante ao coeficiente obtido pelos autores quando ajustaram essa FPT para solos do Estado do Rio Grande do Sul (**Tabela 10**). O mesmo ocorreu para a raiz do erro quadrático médio, a qual foi semelhante entre os solos destes Estados ($REQM = 0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

Quanto à comparação entre utilizar o modelo completo ou o modelo simples proposto por REICHERT *et al.* (2009), o modelo completo teve maior coeficiente de determinação e também maiores índices de eficiência e de concordância em relação ao modelo simples e seu desempenho mediano. O modelo simplificado teve um índice de eficiência negativo, o que indica que seria melhor utilizar a umidade média dos solos de Santa Catarina do que a umidade estimada por essa FPT, e teve um desempenho classificado como péssimo. Ainda em relação ao erro médio, os dois modelos tenderam

a subestimar a umidade do solo ($EM = 0,07$) e em ambas as equações o intercepto diferiu de zero e o coeficiente angular diferiu de um.

Umidade gravimétrica a 33 kPa

A umidade gravimétrica dos horizontes superficiais do solo na sucção de 33 kPa foi estimada através de cinco FPTs publicadas na literatura e, dentre essas, a maioria não conseguiu estimar adequadamente a umidade dos solos de Santa Catarina (**Figura 11, Tabela 49 e Tabela 50**). Uma das razões para esta afirmação se deve a alta raiz do erro quadrático médio, ao erro médio negativo e ao índice de eficiência negativo. As FPTs propostas por ARRUDA *et al.* (1987), MASUTTI (1997), OLIVEIRA *et al.* (2002) e o modelo simples de REICHERT *et al.* (2009) tiveram baixos coeficientes de determinação e índices de concordância, um índice de eficiência negativo, um desempenho péssimo e subestimaram as umidades medidas.

O modelo completo de REICHERT *et al.* (2009) foi o modelo com maior coeficiente de determinação, uma das menores raízes do quadrado médio do erro, e o único com um índice de eficiência positivo. Para essa FPT, o coeficiente de determinação obtido pelos autores ($R^2 = 0,62$) foi inferior ao obtido neste estudo ($R^2 = 0,66$). Contudo, esse modelo teve um desempenho sofrível, devido principalmente à sua tendência de subestimar a umidade gravimétrica dos solos de Santa Catarina.

Umidade gravimétrica a 1.500 kPa

A umidade gravimétrica dos horizontes superficiais do solo na sucção de 1.500 kPa foi estimada através de seis FPTs publicadas na literatura. Dentre essas FPTs, aquelas propostas por BELL e van KEULEN (1995) e o modelo completo de REICHERT *et al.* (2009) podem ser consideradas as melhores equações (**Figura 11; Tabela 49 e Tabela 50**). A FPT de BELL e van KEULEN (1995) teve um dos maiores coeficientes de determinação, o intercepto não diferiu de zero, o coeficiente angular não diferiu de um, o índice de eficiência foi positivo, o seu desempenho foi mediano, embora tenha uma tendência de superestimar a umidade do solo ($EM = -0,06$), e uma alta dispersão dos dados em relação à reta 1:1 ($REQM = 0,12$). Por outro lado, o modelo completo de REICHERT *et al.* (2009) teve um coeficiente de determinação e um índice de eficiência muito parecido com aqueles observados na FPT de BELL e van

KEULEN (1995) e teve como fatores negativos: um intercepto maior do que zero, um coeficiente angular diferente de um e seu desempenho foi sofrível, e como fatores positivos, uma menor dispersão de dados em relação a reta 1:1 (REQM=0,05).

As FPTs de ARRUDA *et al.* (1987), MASUTTI (1997), OLIVEIRA *et al.* (2002) e o modelo simples de REICHERT *et al.* (2009) podem ser consideradas não adequadas para a estimativa da umidade gravimétrica na sucção de 1.500 kPa, pois elas tiveram um menor coeficiente de determinação, um índice de eficiência negativo, um desempenho de mau a péssimo e tendência de subestimava das umidades medidas.

Umidade volumétrica a 10 kPa

A estimativa da umidade volumétrica dos horizontes superficiais dos solos na sucção de 10 kPa foi calculada por seis FPTs publicadas na literatura. Dentre essas, a FPT paramétrica proposta por TOMASELLA *et al.* (2000) teve melhor relação entre a umidade medida e a observada, pois essa FPT teve o maior coeficiente de determinação, os maiores índices de eficiência e de concordância, a menor raiz do erro quadrático médio e seu desempenho foi mediano (**Figura 11; Tabela 49 e Tabela 50**). Como fatores negativos, destacam-se a tendência de subestimar as umidades medidas (EM=0,06), o intercepto difere de zero e o coeficiente angular difere de um.

Outras FPTs que se destacaram foram aquelas propostas por GUPTA e LARSON (1979), van den BERG *et al.* (1997) e GIAROLA *et al.* (2002), as quais foram comparadas à de TOMASELLA *et al.* (2000), tiveram menores coeficientes de determinação, índices de eficiência e de concordância, e seus desempenhos foram sofríveis. Em relação às diferenças entre essas três FPTs, a umidade volumétrica do solo tendeu a ser subestimada pelas FPTs de van den BERG *et al.* (1997) e de GIAROLA *et al.* (2002) e superestimada pela FPT de GUPTA e LARSON (1979). Para o índice de eficiência, a FPT de GIAROLA *et al.* (2002) foi a melhor que as demais, pois teve um índice positivo, enquanto que as FPTs de GUPTA e LARSON (1979) e de van den BERG *et al.* (1997) tiveram índices negativos.

Quanto aos demais modelos, as FPTs de RAWLS *et al.* (1982) e de SAXTON *et al.* (1986) foram piores do que os modelos acima mencionados devido a maior raiz do erro quadrático médio, menores índices de eficiência e de concordância, e seu desempenho ser classificado como mau.

Umidade volumétrica a 33 kPa

A umidade volumétrica dos horizontes superficiais do solo na sucção de 33 kPa foi estimada através de quatro FPTs publicadas na literatura. Em analogia ao observado na umidade volumétrica na sucção de 10 kPa, a FPT paramétrica proposta por TOMASELLA *et al.* (2000) foi melhor modelo (**Figura 11; Tabela 49 e Tabela 50**). Essa FPT teve o maior coeficiente de determinação, o maior índice de concordância e a menor raiz do erro quadrático médio, quando comparada às demais FPTs. Além disso, seu desempenho foi o único na classe mediano. Como fatores negativos dessa equação, destacam-se a sua tendência de subestimar as umidades medidas ($EM=0,08$), o índice de eficiência foi negativo, o intercepto diferiu de zero e o coeficiente angular diferiu de um.

As FPTs de GUPTA e LARSON (1979), RAWLS *et al.* (1982) e SAXTON e RAWLS (2006) foram bastante semelhantes quanto a sua capacidade preditiva, pois tiveram um coeficiente de determinação, uma raiz do erro quadrático médio e índice de discordância com valores próximos, e o desempenho dessas três FPTs foram classificados como sofrível. Quanto ao erro médio, as FPTs de GUPTA e LARSON (1979) e RAWLS *et al.* (1982) tiveram tendência de superestimar a umidade do solo, enquanto que a FPT de SAXTON e RAWLS (2006) teve tendência de subestimá-los.

Umidade volumétrica a 1.500 kPa

A umidade volumétrica dos horizontes superficiais do solo na sucção de 1.500 kPa foi estimada através de sete FPTs publicadas na literatura. Em semelhança ao observado para a estimativa da umidade volumétrica na sucção de 10 e 33 kPa, a FPT paramétrica de TOMASELLA *et al.* (2000) foi o melhor modelo para predição da umidade na sucção de 1.500 kPa (**Figura 11; Tabela 49 e Tabela 50**). Essa função teve o maior coeficiente de determinação, um dos maiores índices de eficiência e de concordância e a menor raiz do erro quadrático médio, quando comparada às demais FPTs. Além disso, foi o único modelo com desempenho na classe mediano. Como fatores negativos, destacam-se a sua tendência em subestimar as umidades medidas ($EM=0,10$), o intercepto diferiu de zero e o coeficiente angular diferiu de um.

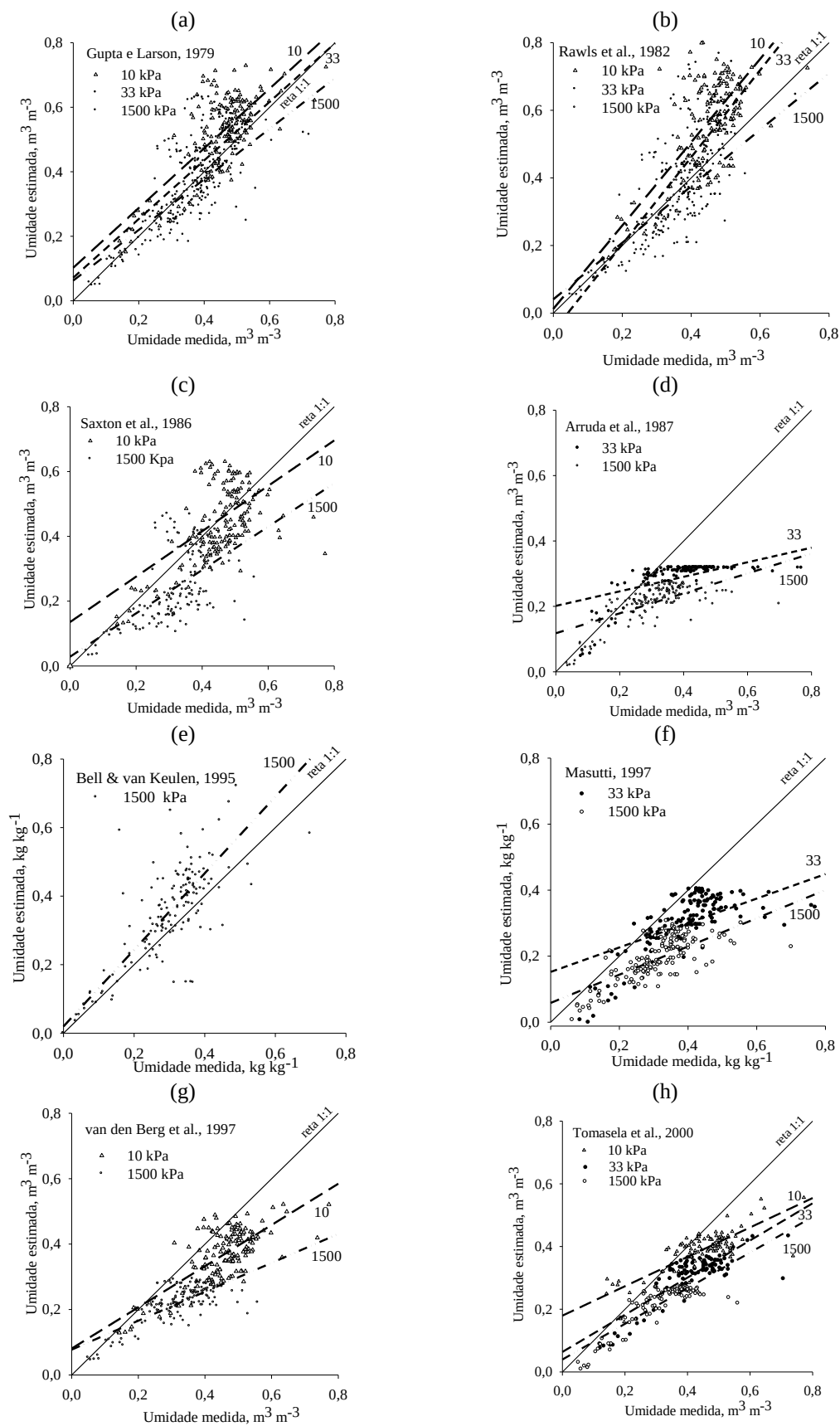
O segundo modelo com melhor capacidade preditiva da umidade volumétrica na sucção de 1.500 kPa foi o proposto por RAWLS *et al.* (1982), o qual teve um menor

coeficiente de determinação e uma maior raiz do erro quadrático médio em relação a FPT de TOMASELLA *et al.* (2000), e seu desempenho foi mediano. Quanto às vantagens desse modelo em relação ao modelo de TOMASELLA *et al.* (2000) destacam-se o maior índice de concordância, o erro médio praticamente nulo ($EM=0,01$), o intercepto não diferiu de zero e o coeficiente angular não diferiu de um.

O terceiro melhor modelo foi o proposto por GUPTA e LARSON (1979), pois os parâmetros estatísticos desse modelo foram muito parecidos com aqueles observados no modelo de RAWLS *et al.* (1982), e sua capacidade preditiva foi inferior a esse modelo devido ao seu menor coeficiente de determinação, o intercepto diferiu de zero e o coeficiente angular diferiu de um.

O quarto melhor modelo com maior capacidade preditiva foi aquele proposto por GIAROLA *et al.* (2002), o qual teve o segundo maior coeficiente de determinação e a terceira menor raiz do erro quadrático médio comparado aos sete modelos avaliados, e o intercepto da equação ajustada não diferiu de zero e seu desempenho foi sofrível. Como fatores negativos desse modelo, destacam-se o índice de eficiência negativo, tendência de subestimar as umidades medidas ($EM=0,07$) e o coeficiente angular da equação ajustada diferir de um.

Os modelos de SAXTON *et al.* (1986), SAXTON e RAWLS (2006) e van den BERG *et al.* (1997) podem ser considerados os piores modelos para predição da umidade do solo na sucção de 1.500 kPa, pois os mesmos tiveram menores índices de eficiência e de concordância e seu índice de desempenho foi inferior em relação aos demais modelos avaliados.



Continua...

continuação...

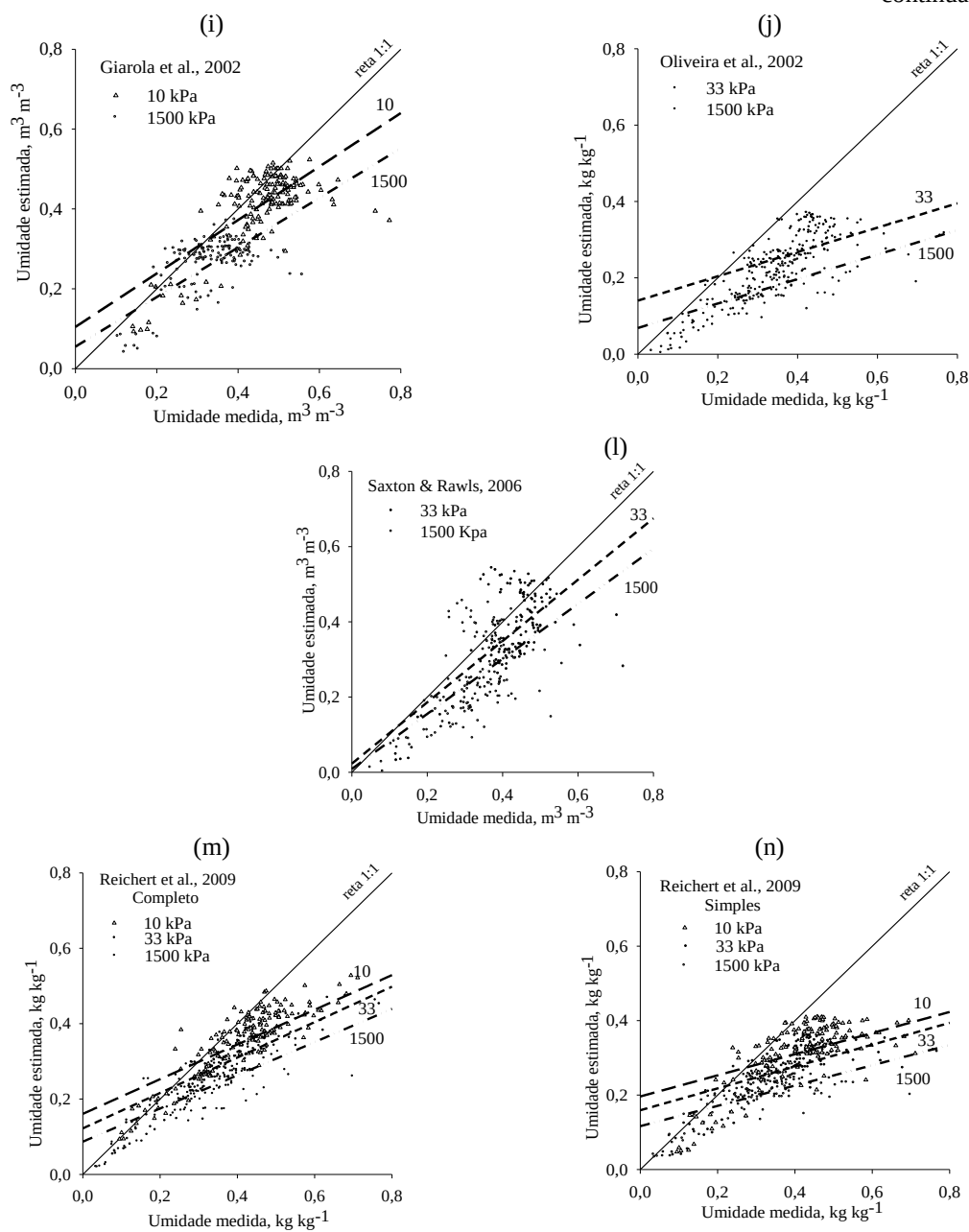


Figura 11. Relação entre a umidade estimada por funções de pedotransferência existentes na literatura e a umidade medida em horizontes superficiais de solos de Santa Catarina.

Tabela 49. Parâmetros estatísticos e equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada para as equações de pedotransferência avaliadas utilizando amostras de solos coletadas em horizontes superficiais do Estado de Santa Catarina, 2012.

Unidade ⁽¹⁾	Sucção (kPa)	Equação ⁽²⁾	n ⁽³⁾	μ_{medida} ⁽⁴⁾	Equação ajustada	R ²	a=0 ⁽⁵⁾ (n.m.s.)	b≠1 ⁽⁶⁾ (n.m.s.)
ug	10	Re _{completo}	160	0,43	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,16 + 0,47 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,67**	<0,01	<0,01
		Re _{simples}	160	0,43	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,20 + 0,28 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,31**	<0,01	<0,01
	33	Arr	139	0,40	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,20 + 0,22 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,35**	<0,01	<0,01
		Mas	139	0,40	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,15 + 0,37 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,36**	<0,01	<0,01
		Oli	139	0,40	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,14 + 0,32 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,35**	<0,01	<0,01
		Re _{completo}	139	0,40	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,12 + 0,47 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,66**	<0,01	<0,01
	1500	Re _{simples}	139	0,40	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,16 + 0,29 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,36**	<0,01	<0,01
		Arr	151	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,13 + 0,31 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,33**	<0,01	<0,01
		Bel	151	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,01 + 1,10 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,57**	0,84	0,20
		Mas	151	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,06 + 0,43 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,52**	<0,01	<0,01
		Oli	151	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,08 + 0,33 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,33**	<0,01	<0,01
		Re _{completo}	151	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,09 + 0,44 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,57**	<0,01	<0,01
		Re _{simples}	151	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,12 + 0,27 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,40**	<0,01	<0,01
uv	10	Gia	160	0,46	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,10 + 0,67 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,51**	<0,01	<0,01
		Gup	160	0,46	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,10 + 0,93 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,54**	<0,01	0,28
		Raw	160	0,46	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,01 + 1,23 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,55**	0,77	0,01
		Sax	160	0,46	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,13 + 0,69 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,35**	<0,01	<0,01
		To	105	0,46	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,18 + 0,47 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,64**	<0,01	<0,01
		van	160	0,46	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,08 + 0,63 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,55**	<0,01	<0,01
	33	Gup	139	0,42	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,07 + 0,91 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,52**	0,03	0,22
		Raw	139	0,42	$\theta_{v_{\text{est}}} = -0,05 + 1,29 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,57**	0,19	<0,01
		SR	139	0,42	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,02 + 0,82 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,47**	0,48	0,01
		Tom	105	0,42	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,06 + 0,59 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,73**	<0,01	<0,01
	1500	Gia	151	0,33	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,01 + 0,76 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,61**	0,41	<0,01
		Gu	151	0,33	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,06 + 0,78 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,46**	<0,01	<0,01
		Raw	151	0,33	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,03 + 0,89 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,55**	0,16	0,10
		Sax	151	0,33	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,01 + 0,79 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,43**	0,77	<0,01
		SR	151	0,33	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,02 + 0,73 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,45**	0,52	<0,01
		Tom	105	0,33	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,04 + 0,57 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,74**	<0,01	<0,01
		van	151	0,33	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,05 + 0,56 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,60**	<0,01	<0,01

⁽¹⁾ ug: umidade gravimétrica (kg kg⁻¹) e uv: umidade volumétrica (cm³ cm⁻³). ⁽²⁾ Umidade do solo estimada através da equação de pedotransferência proposta por: Re_{completo}: modelo completo de REICHERT *et al.* (2009); Re_{simples}: modelo simples, somente com a textura de REICHERT *et al.* (2009); Arr: ARRUDA *et al.* (1987); Mas: MASUTTI (1997); Oli: OLIVEIRA *et al.* (2002); Bel: BELL & van KEULEN (1995); Gi: GIAROLA *et al.* (2002); Gup: GUPTA e LARSON (1979); Raw: RAWLS *et al.* (1982); Sax: SAXTON *et al.* (1986); Tom: TOMASELLA *et al.* (2000); van: van den BERG *et al.* (1997); SR: SAXTON e RAWLS (2006). ⁽³⁾ n: número de pares para gerar a equação. ⁽⁴⁾ μ_{medida} : média do conteúdo de água disponível medido. R²: coeficiente de determinação. ⁽⁵⁾ Para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro “a” da equação da reta não difere de zero. ⁽⁶⁾ Para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro “b” da equação da reta não difere de 1. ⁽⁷⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (*, ** e ns: significativo a 5 %, 1 %, e não significativo, respectivamente).

Tabela 50. Raiz do erro quadrático médio (REQM), raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de confiança (c) e desempenho de diferentes equações de pedotransferência avaliadas em solos coletadas de horizontes superficiais do Estado de Santa Catarina, 2012.

Unidade ⁽¹⁾	Sucção (kPa)	Equação ⁽²⁾	REQM	RREQM	EM	EF	r	d	c	Desempenho ⁽³⁾
ug	10	Re _{completo}	0,05	12	0,07	0,44	0,82	0,78	0,64	mediano
		Re _{simples}	0,07	16	0,11	-0,17	0,56	0,61	0,34	péssimo
	33	Arr	0,05	13	0,11	-0,19	0,60	0,58	0,34	péssimo
		Mas	0,08	20	0,10	-0,05	0,60	0,66	0,39	péssimo
		Oli	0,07	18	0,13	-0,38	0,59	0,61	0,36	péssimo
		Re _{completo}	0,05	13	0,09	0,27	0,81	0,74	0,60	sofrível
	1500	Re _{simples}	0,06	15	0,12	-0,29	0,60	0,60	0,36	péssimo
		Arr	0,06	19	0,10	-0,26	0,57	0,62	0,35	péssimo
		Bel	0,12	39	-0,06	0,06	0,75	0,83	0,63	mediano
		Mas	0,05	16	0,12	-0,44	0,72	0,63	0,46	mau
		Oli	0,06	19	0,14	-0,95	0,57	0,57	0,32	péssimo
		Re _{completo}	0,05	16	0,09	0,04	0,76	0,69	0,52	sofrível
		Re _{simples}	0,04	13	0,11	-0,43	0,63	0,59	0,37	péssimo
		Gia	0,06	13	0,05	0,25	0,72	0,80	0,57	sofrível
uv	10	Gup	0,08	18	-0,07	-0,23	0,73	0,77	0,56	sofrível
		Raw	0,11	24	-0,12	-1,76	0,74	0,67	0,49	mau
		Sax	0,09	20	0,02	-0,01	0,59	0,76	0,45	mau
		Tom	0,04	9	0,06	0,43	0,80	0,80	0,64	mediano
		van	0,06	13	0,09	-0,26	0,74	0,72	0,53	sofrível
		Gup	0,09	21	-0,03	0,11	0,72	0,81	0,59	sofrível
	33	Raw	0,11	26	-0,07	-0,82	0,75	0,75	0,57	sofrível
		SR	0,09	21	0,05	-0,10	0,68	0,78	0,53	sofrível
		Tom	0,04	10	0,10	-0,14	0,85	0,74	0,63	mediano
	1500	Gia	0,06	18	0,07	-0,03	0,78	0,75	0,59	sofrível
		Gup	0,08	25	0,01	0,21	0,68	0,82	0,55	sofrível
		Raw	0,08	25	0,01	0,19	0,74	0,82	0,61	mediano
		Sax	0,09	28	0,08	-0,76	0,65	0,67	0,44	mau
		SR	0,08	25	0,08	-0,59	0,67	0,70	0,47	mau
		Tom	0,03	9	0,10	0,01	0,86	0,75	0,64	mediano
		van	0,05	15	0,10	-0,72	0,78	0,64	0,50	mau

⁽¹⁾ ug: umidade gravimétrica (kg kg^{-1}) e uv: umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); ⁽²⁾ Umidade do solo estimada através da equação de pedotransferência proposta por: Re_{completo}: modelo completo de REICHERT *et al.* (2009); Re_{simples}: modelo somente com a textura de REICHERT *et al.* (2009); Arr: ARRUDA *et al.* (1987); Mas: MASUTTI (1997); Oli: OLIVEIRA *et al.* (2002); Bel: BELL & van KEULEN (1995); Gi: GIAROLA *et al.* (2002); Gup: GUPTA e LARSON (1979); Raw: RAWLS *et al.* (1982); Sax: SAXTON *et al.* (1986); SR: SAXTON e RAWLS (2006); Tom: TOMASELLA *et al.* (2000); van: van den BERG *et al.* (1997).. REQM: raiz do erro quadrático médio. RREQM: raiz do erro quadrático médio relativo, EM: erro médio; EF: índice de eficiência (NASH e SUTCLIFFE, 1970). r: índice de correlação linear de Pearson. d: índice de concordância (WILLMOTT, 1981). c: índice de desempenho (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). ⁽³⁾ Classificação conforme o índice de concordância segundo CAMARGO e SENTELHAS (1997).

4.3.2 Estimativa da retenção de água nos horizontes subsuperficiais por funções de pedotransferência publicadas na literatura

Umidade gravimétrica a 10 kPa

A umidade gravimétrica dos horizontes subsuperficiais do solo na sucção de 10 kPa foi estimada através de duas FPTs propostas por REICHERT *et al.* (2009) e a estimativa desse atributo foi melhor quando o modelo completo foi utilizado em relação ao modelo simplificado (**Figura 12, Tabela 51 e Tabela 52**).

No caso do modelo completo, o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,82$) obtido entre a umidade medida e a estimada para os solos de Santa Catarina (**Tabela 51**) foi maior do que coeficiente ($R^2 = 0,67$) obtido pelos autores quando ajustaram essa função de pedotransferência com solos do Estado do Rio Grande do Sul (**Tabela 10**). Um melhor valor em relação àquele observado no banco de dados original também ocorreu para a raiz do erro quadrático médio, a qual foi $0,01 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ menor nos solos de Santa Catarina.

Quanto à comparação entre utilizar o modelo completo ou o modelo simples, foi constatado que o modelo completo teve maior coeficiente de determinação e também maiores índices de eficiência e de concordância em relação ao modelo simples e seu desempenho foi muito bom, enquanto que o modelo simplificado teve um desempenho bom. Em relação ao erro médio, os dois modelos tenderam a subestimar a umidade do solo ($EM = 0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e em ambas as equações o intercepto diferiu de zero e o coeficiente angular diferiu de um.

Umidade gravimétrica a 33 kPa

A umidade volumétrica dos horizontes subsuperficiais do solo na sucção de 33 kPa foi estimada através de cinco FPTs publicadas na literatura. Diferentemente ao observado nos horizontes superficiais, a maioria das FPTs publicadas na literatura avaliadas para estimar a umidade volumétrica dos horizontes subsuperficiais do solo conseguiu estimar adequadamente a umidade dos solos de SC na sucção de 33 kPa (**Figura 12, Tabela 51, Tabela 52**). As FPTs propostas por MASUTTI (1997), OLIVEIRA *et al.* (2002) e os dois modelos de REICHERT *et al.* (2009) tiveram altos coeficientes de determinação e índices de concordância, índice de eficiência positivo,

um desempenho bom, pequena raiz do erro quadrático médio. Entretanto, todas as FPTs avaliadas tiveram tendência de subestimar a umidade medida.

O modelo de MASUTTI (1997) destacou-se dentre os demais, devido aos seus maiores índices de eficiência, de concordância e de desempenho, enquanto a FPT de ARRUDA *et al.* (1987) foi o pior modelo para estimativa da umidade gravimétrica dos horizontes subsuperficiais do solo, pois teve menor coeficiente de determinação e índice de concordância, índice de eficiência negativo e um desempenho sofrível.

Umidade gravimétrica a 1.500 kPa

A umidade gravimétrica dos horizontes subsuperficiais do solo na sucção de 1.500 kPa foi estimada através de seis FPTs publicadas na literatura. Dentre essas, a proposta por BELL e van KEULEN (1995) pode ser considerada a melhor (**Figura 12, Tabela 51, Tabela 52**), sendo que foi a única que obteve um índice de eficiência positivo, teve os maiores índices de concordância e de desempenho, o qual foi classificado como mediano, e com menor tendência de subestimar a umidade do solo, embora tenha a maior dispersão dos dados em relação à reta 1:1 ($REQM=0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

Quanto aos demais modelos, as FPTs de ARRUDA *et al.* (1987), MASUTTI (1997), OLIVEIRA *et al.* (2002) e os dois modelos de REICHERT *et al.* (2009) podem ser considerados como opções para predição da umidade do solo, quando não for possível utilizar o modelo de BELL e van KEULEN (1995). Esses modelos tiveram altos coeficientes de determinação, raízes do erro quadrado médio semelhantes e pequenas, e seus índices de concordância e erros médios foram muito próximos.

Umidade volumétrica a 10 kPa

A estimativa da umidade volumétrica dos horizontes subsuperficiais dos solos na sucção de 10 kPa foi calculada utilizando seis FPTs publicadas na literatura. Dentre essas, aquelas propostas por GIAROLA *et al.* (2002), GUPTA e LARSON (1979), RAWLS *et al.* (1982) e SAXTON *et al.* (1986) foram melhores e muito semelhantes estatisticamente (**Figura 12, Tabela 51, Tabela 52**). Essas quatro FPTs tiveram altos coeficientes de determinação e índices de concordância, seus índices de eficiência foram positivos, os interceptos de cada equação ajustada não diferiram de um, e seus

desempenhos foram classificados como bom. Elas diferem quanto ao erro médio, diferenças no teste F para o coeficiente angular, e na raiz do erro quadrático médio.

A FPT de GIAROLA *et al.* (2002) possui tendência de subestimar a umidade do solo, a de GUPTA e LARSON (1979) e de SAXTON *et al.* (1986) não possuem tendência, devido ao erro médio ser praticamente nulo, e a função de pedotransferência de RAWLS *et al.* (1982) possui tendência de superestimar a umidade do solo. Para o teste estatístico do coeficiente angular, dentre essas quatro FPT, apenas aquela proposta por GIAROLA *et al.* (2002) teve esse coeficiente diferente de um. Quanto a raiz do erro quadrático médio, a FPT de GIAROLA *et al.* (2002) teve menor dispersão de dados em relação à reta 1:1, em comparação aos outros três modelos.

Quanto aos demais modelos, a FPT de van den BERG *et al.* (1997) foi pior do que os modelos acima mencionados devido ao seu menor índice de concordância em relação ao primeiro grupo, seu índice de eficiência foi negativo e seu desempenho foi classificado como sofrível. A FPT paramétrica de TOMASELLA *et al.* (2000) pode ser considerada como a menos indicada para predição da umidade volumétrica a 10 kPa dos horizontes subsuperficiais do solo dentre os seis modelos avaliados, com base nos parâmetros estatísticos adotados. A classificação dessa última função de pedotransferência foi totalmente oposta ao observado para a umidade nos horizontes superficiais do solo, para os quais esse modelo foi o de melhor desempenho.

Umidade volumétrica a 33 kPa

A umidade volumétrica dos horizontes subsuperficiais do solo na sucção de 33 kPa foi estimada através de quatro FPTs. As FPTs de GUPTA e LARSON (1979), RAWLS *et al.* (1982) e SAXTON e RAWLS (2006) foram bastante semelhantes quanto a sua capacidade preditiva e melhores do que a FPT de TOMASELLA *et al.* (2000) (**Figura 12, Tabela 51, Tabela 52**). Essas três FPT tiveram um coeficiente de determinação, uma raiz do erro quadrático médio, um índice de eficiência e de discordância semelhantes, e o desempenho das mesmas foram classificados como bom. Quanto ao erro médio, as FPTs de GUPTA e LARSON (1979) e RAWLS *et al.* (1982) tiveram pequena tendência de superestimar a umidade do solo, enquanto que a FPT de SAXTON e RAWLS (2006) teve tendência de subestimar.

Em analogia ao observado para a umidade volumétrica dos horizontes subsuperficiais na sucção de 10 kPa, a FPT paramétrica proposta por TOMASELLA *et*

al. (2000) foi o pior modelo para predição da umidade nesta sucção. Ela teve o menor coeficiente de determinação, os menores índices de eficiência e de concordância quando comparada às demais FPTs. Além disso, seu intercepto diferiu de zero e o coeficiente angular diferiu de um, tendência de subestimar a umidade medida ($EM=0,17 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e seu desempenho foi mau. Como fator positivo dessa equação, destaca-se a menor raiz do erro quadrático médio em relação às demais FPTs.

Umidade volumétrica a 1.500 kPa

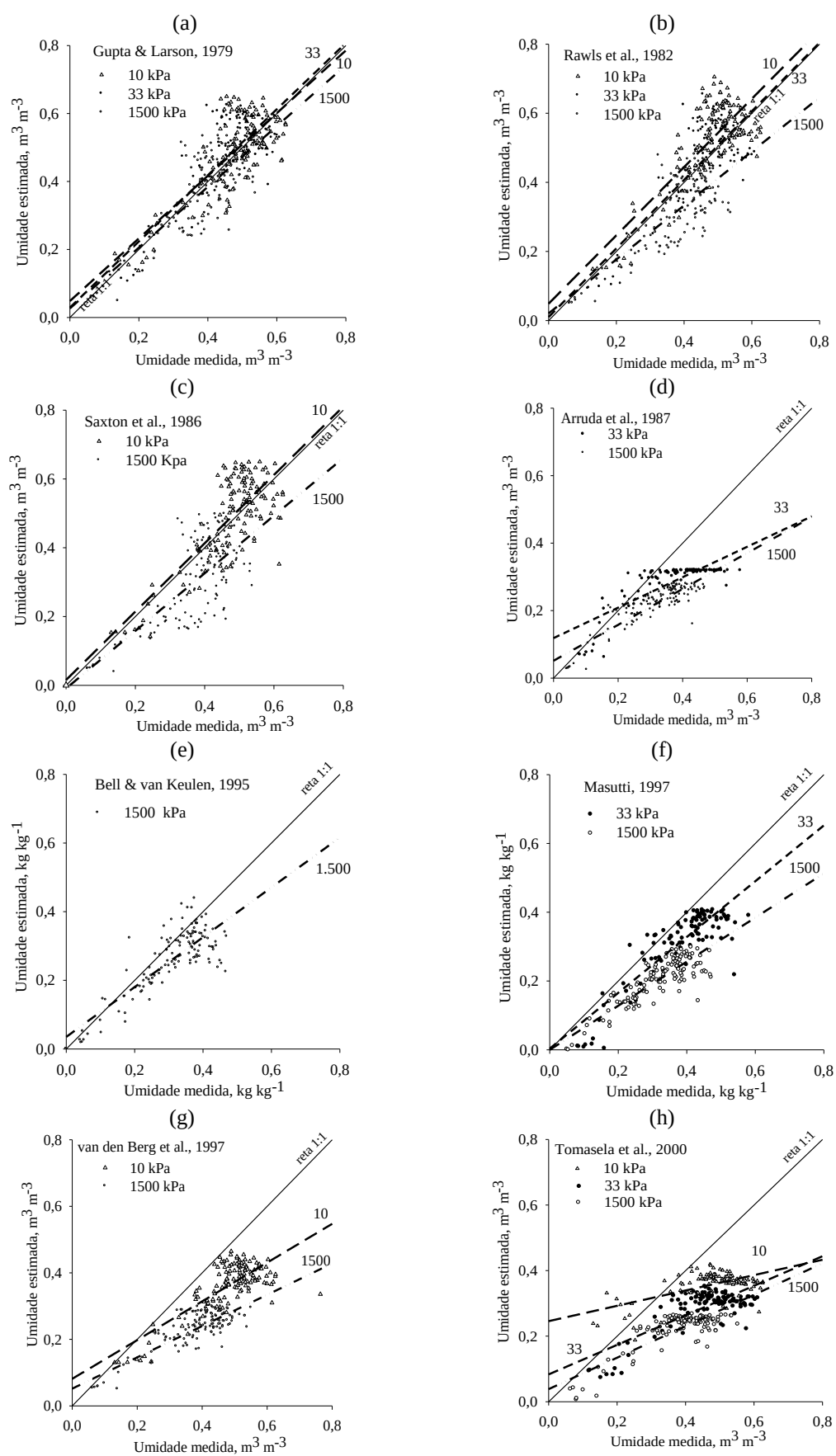
A umidade volumétrica dos horizontes subsuperficiais do solo na sucção de 1.500 kPa foi estimada através de sete FPTs publicadas na literatura. Para esta umidade, nenhuma das sete equações destacou-se das demais, pois a melhor FPT não foi à mesma quando se utiliza diferentes indicadores estatísticos (**Figura 12, Tabela 51, Tabela 52**). Além disso, todas as FPT tiveram tendência de subestimar a umidade do solo medida (erro médio positivo).

A FPT de GUPTA e LARSON (1979) diferenciou-se das demais quando alguns parâmetros estatísticos são utilizados, pois teve o maior índice de eficiência e com maior índice de concordância, o maior índice de desempenho e com menor erro médio praticamente nulo. Além disso, o intercepto dessa FPT não diferiu de zero e o coeficiente angular não diferiu de um. Entretanto, como fatores negativos, essa função de pedotransferência teve um coeficiente de determinação intermediário e uma grande raiz do erro quadrático médio.

A segunda melhor FPT foi aquela proposta por RAWLS *et al.* (1982), a qual se diferenciou das demais quando alguns parâmetros estatísticos são utilizados, pois ela teve o segundo maior um índice de eficiência e de concordância, seu desempenho foi mediano e o segundo menor erro médio. Entretanto, como fatores negativos, essa FPT teve um coeficiente de determinação intermediário e uma grande raiz do erro quadrático médio. Além disso, o intercepto dessa função de pedotransferência diferiu de zero.

A FPT de van den BERG *et al.* (1997) e a de TOMASELLA *et al.* (2000) foram melhores do que os demais modelos quando o coeficiente de determinação e a raiz do erro quadrático médio são utilizados como parâmetros estatísticos. No entanto, essas duas FPTs tiveram os maiores erros médios e menores índices de eficiência e de concordância, em comparação as demais. Também, o intercepto da equação ajustada diferiu de um e o coeficiente angular diferiu de zero.

As FPT de SAXTON *et al.* (1986), GIAROLA *et al.* (2002) e SAXTON e RAWLS (2006) foram estatisticamente muito parecidas com a FPT de RAWLS *et al.* (1982), diferindo desta apenas pelo índice de eficiência, o qual foi negativo para essas quatro FPTs.



Continua...

continuação ...

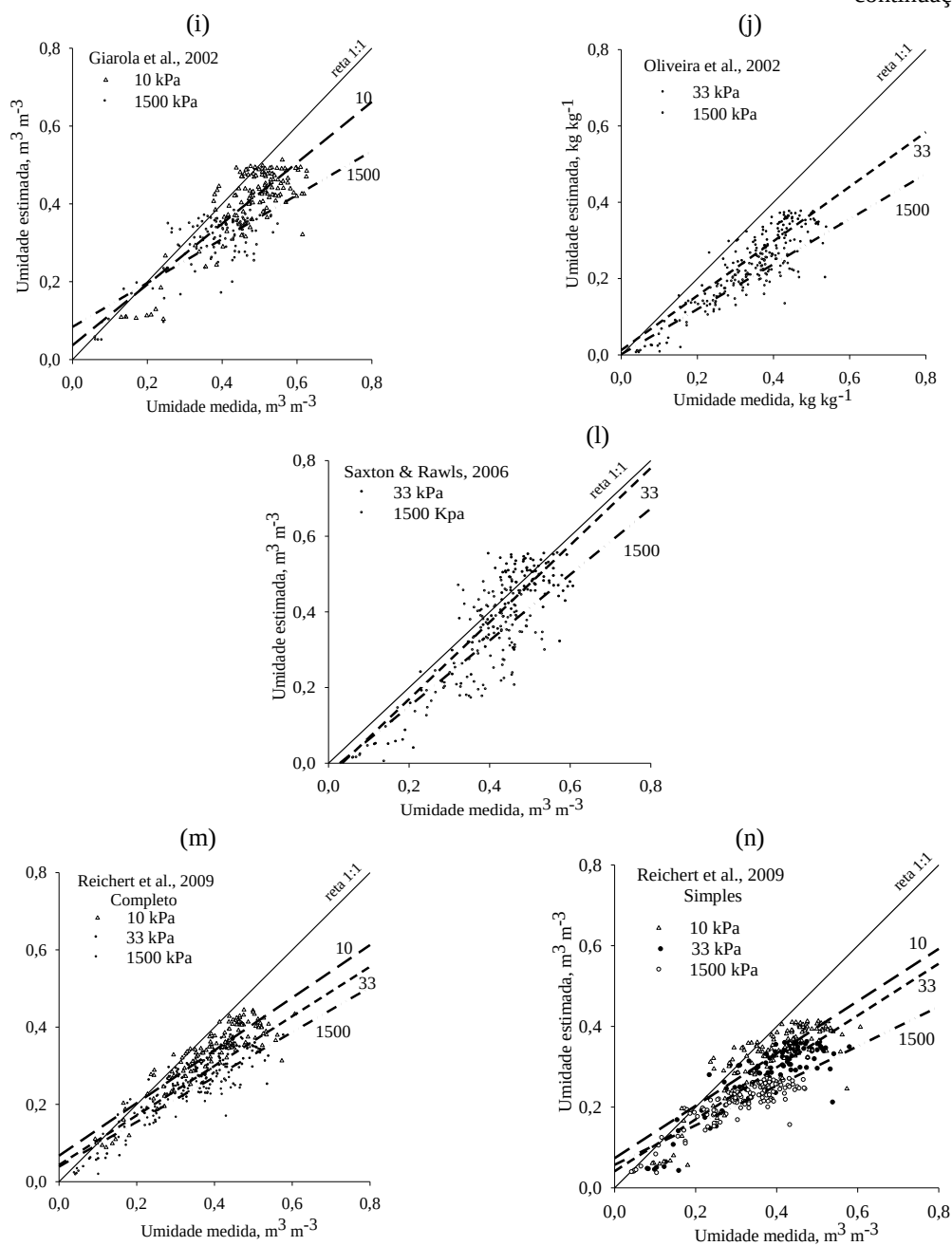


Figura 12. Relação entre a umidade estimada por treze funções de pedotransferência existentes na literatura e a umidade medida em horizontes subsuperficiais de solos de Santa Catarina.

Tabela 51. Parâmetros estatísticos e equações ajustadas entre a umidade medida e a observada para as equações de pedotransferência avaliadas utilizando amostras de solos coletadas em horizontes subsuperficiais do Estado de Santa Catarina, 2012.

Unidade ⁽¹⁾	Sucção (kPa)	Equação ⁽²⁾	n ⁽³⁾	μ_{medida} ⁽⁴⁾	Equação ajustada	R ²	a=0 ⁽⁵⁾ (n.m.s)	b≠1 ⁽⁶⁾ (n.m.s)
ug	10	Re _{completo}	133	0,39	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,07 + 0,68 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,82**	<0,01	<0,01
		Re _{simples}	133	0,39	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,07 + 0,65 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,71**	<0,01	<0,01
	33	Arr	110	0,38	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,12 + 0,45 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,65**	<0,01	<0,01
		Mas	110	0,38	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,00 + 0,81 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,76**	0,84	<0,01
		Oli	110	0,38	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,01 + 0,71 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,77**	0,41	<0,01
		Re _{completo}	110	0,38	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,04 + 0,64 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,79**	<0,01	<0,01
	1500	Re _{simples}	110	0,38	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,04 + 0,64 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,76**	<0,01	<0,01
		Arr	133	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,05 + 0,53 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,77**	<0,01	<0,01
		Bel	133	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,04 + 0,73 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,66**	0,02	<0,01
		Mas	133	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,64 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,77**	0,99	<0,01
		Oli	133	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,00 + 0,59 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,79**	0,86	<0,01
		Re _{completo}	133	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,04 + 0,58 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,76**	<0,01	<0,01
		Re _{simples}	133	0,31	$\theta_{g_{\text{est}}} = 0,06 + 0,49 * \theta_{g_{\text{med}}}$	0,78**	<0,01	<0,01
uv	10	Gia	133	0,48	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,04 + 0,78 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,68**	0,11	<0,01
		Gup	133	0,48	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,05 + 0,92 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,59**	0,14	0,24
		Raw	133	0,48	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,05 + 0,99 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,64**	0,13	0,86
		Sax	133	0,48	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,02 + 0,99 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,61**	0,65	0,93
		Tom	110	0,48	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,25 + 0,23 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,34**	<0,01	<0,01
		Van	133	0,48	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,06 + 0,62 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,66**	<0,01	<0,01
	33	Gup	110	0,45	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,03 + 0,97 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,66**	0,36	0,68
		Raw	110	0,45	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,01 + 0,99 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,65**	0,76	0,92
		SR	110	0,45	$\theta_{v_{\text{est}}} = -0,03 + 1,02 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,71**	0,24	0,77
		Tom	110	0,45	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,08 + 0,45 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,60**	<0,01	<0,01
	1500	Gia	133	0,38	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,08 + 0,56 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,59**	<0,01	<0,01
		Gu	133	0,38	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,03 + 0,89 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,63**	0,27	0,08
		Raw	133	0,38	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,02 + 0,78 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,58**	0,37	<0,01
		Sax	110	0,38	$\theta_{v_{\text{est}}} = -0,01 + 0,84 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,52**	0,75	0,02
		SR	133	0,38	$\theta_{v_{\text{est}}} = -0,02 + 0,87 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,58**	0,34	0,05
		Tom	133	0,38	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,04 + 0,48 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,70**	<0,01	<0,01
		Van	133	0,38	$\theta_{v_{\text{est}}} = 0,05 + 0,47 * \theta_{v_{\text{med}}}$	0,68**	<0,01	<0,01

⁽¹⁾ ug: umidade gravimétrica (kg kg⁻¹) e uv: umidade volumétrica. ⁽²⁾ Umidade do solo estimada através da equação de pedotransferência proposta por: Re_{completo}: modelo completo de REICHERT *et al.* (2009); Re_{simples}: modelo somente com a textura de REICHERT *et al.* (2009); Arr: ARRUDA *et al.* (1987); Mas: MASUTTI (1997); Oli: OLIVEIRA *et al.* (2002); Bel: BELL & van KEULEN (1995); Gi: GIAROLA *et al.* (2002); Gup: GUPTA e LARSON (1979); Raw: RAWLS *et al.* (1982); Sax: SAXTON *et al.* (1986); Tom: TOMASELLA *et al.* (2000); van: van den BERG *et al.* (1997); SR: SAXTON e RAWLS (2006). ⁽³⁾ n: número de pares para gerar a equação. ⁽⁴⁾ μ_{medida} : média do conteúdo de água disponível medido. R²: coeficiente de determinação. ⁽⁵⁾ Para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro “a” da equação da reta não difere de zero. ⁽⁶⁾ Para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro “b” da equação da reta não difere de 1. ⁽⁷⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (*, ** e ns: significativo a 5 %, 1 %, e não significativo, respectivamente).

Tabela 52. Raiz do erro quadrático médio (REQM), raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de confiança (c) e desempenho de diferentes equações de pedotransferência avaliadas utilizando amostras de solos coletadas em horizontes subsuperficiais do Estado de Santa Catarina, 2012.

Unidade ⁽¹⁾	Sucção (kPa)	Equação ⁽²⁾	REQM	RREQM	EM	EF	r	d	c	Desempenho ⁽³⁾
ug	10	Re _{completo}	0,04	10	0,06	0,52	0,90	0,86	0,78	muito bom
		Re _{simples}	0,05	13	0,06	0,38	0,84	0,82	0,69	bom
	33	Arr	0,04	10	0,09	-0,08	0,81	0,72	0,58	sofrível
		Mas	0,05	13	0,07	0,38	0,87	0,85	0,74	bom
		Oli	0,04	10	0,10	0,01	0,88	0,78	0,68	bom
		Re _{completo}	0,04	10	0,09	0,05	0,89	0,77	0,69	bom
	1500	Re _{simples}	0,04	10	0,10	0,01	0,87	0,77	0,67	bom
		Arr	0,03	10	0,09	-0,20	0,88	0,72	0,63	mediano
		Bel	0,05	16	0,05	0,39	0,81	0,84	0,68	bom
		Mas	0,03	10	0,11	-0,52	0,88	0,70	0,62	mediano
		Oli	0,03	10	0,13	-0,85	0,89	0,66	0,59	sofrível
		Re _{completo}	0,03	10	0,09	-0,14	0,87	0,73	0,64	mediano
		Re _{simples}	0,03	10	0,10	-0,38	0,88	0,69	0,61	sofrível
		Gia	0,05	10	0,07	0,20	0,82	0,82	0,67	bom
uv	10	Gup	0,08	17	-0,01	0,40	0,77	0,87	0,67	bom
		Raw	0,07	15	-0,04	0,26	0,80	0,85	0,68	bom
		Sax	0,08	17	-0,01	0,34	0,78	0,86	0,67	bom
		Tom	0,04	8	0,12	-0,83	0,58	0,57	0,33	péssimo
		van	0,04	8	0,12	-0,74	0,81	0,68	0,55	sofrível
		Gup	0,08	18	-0,02	0,49	0,81	0,89	0,72	bom
	33	Raw	0,08	18	-0,01	0,45	0,80	0,88	0,71	bom
		SR	0,07	15	0,03	0,53	0,84	0,90	0,76	bom
		Tom	0,04	9	0,17	-1,79	0,78	0,58	0,45	mau
	1500	Gia	0,05	13	0,08	-0,06	0,77	0,74	0,57	sofrível
		Gu	0,07	18	0,01	0,49	0,79	0,88	0,70	bom
		Raw	0,07	18	0,06	0,14	0,76	0,81	0,61	mediano
		Sax	0,08	21	0,07	-0,16	0,72	0,77	0,55	sofrível
		SR	0,08	21	0,07	-0,06	0,76	0,79	0,60	sofrível
		Tom	0,03	8	0,16	-1,30	0,84	0,62	0,52	sofrível
		van	0,03	8	0,15	-1,53	0,83	0,59	0,49	mau

⁽¹⁾ ug: umidade gravimétrica (kg kg⁻¹) e uv: umidade volumétrica (cm³ cm⁻³). ⁽²⁾ Umidade do solo estimada através da equação de pedotransferência proposta por: Re_{completo}: modelo completo de REICHERT *et al.* (2009); Re_{simples}: modelo somente com a textura de REICHERT *et al.* (2009); Arr: ARRUDA *et al.* (1987); Mas: MASUTTI (1997); Oli: OLIVEIRA *et al.* (2002); Bel: BELL & van KEULEN (1995); Gi: GIAROLA *et al.* (2002); Gup: GUPTA e LARSON (1979); Raw: RAWLS *et al.* (1982); Sax: SAXTON *et al.* (1986); Tom: TOMASELLA *et al.* (2000); van: van den BERG *et al.* (1997); SR: SAXTON e RAWLS (2006). REQM: raiz do erro quadrático médio. RREQM: raiz do erro quadrático médio relativo. EM: erro médio; EF: índice de eficiência (NASH e SUTCLIFFE, 1970). r: índice de correlação linear de Pearson. d: índice de concordância (WILLMOTT, 1981). c: índice de desempenho (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). ⁽³⁾ Classificação conforme o índice de concordância segundo CAMARGO e SENTELHAS (1997).

4.3.3 Disponibilidade de água estimada nos horizontes superficiais dos solos

Umidade gravimétrica entre 10 e 1.500 kPa

O conteúdo de água disponível dos horizontes superficiais do solo foi obtido pela diferença na umidade gravimétrica do solo entre as sucções de 10 e 1.500 kPa, as quais foram estimadas através de dois modelos propostos por REICHERT *et al.* (2009), um mais completo e outro mais simples (utilizada somente a textura). Ao se comparar o conteúdo de água disponível estimado com o conteúdo medido, observa-se que o modelo completo de REICHERT *et al.* (2009) estima melhor a disponibilidade de água no solo, pois esse modelo teve a raiz do quadrado médio do erro pequeno, um índice de eficiência positivo, um índice de concordância razoável e um desempenho sofrível (**Figura 13; Tabela 53 e Tabela 54**). Como fator negativo, esse modelo teve tendência de superestimar a disponibilidade de água.

O modelo simples de REICHERT *et al.* (2009) teve um índice de eficiência negativo e um coeficiente de determinação muito pequeno, resultando em um desempenho péssimo, ou seja, não se recomenda a utilização dessas duas FPTs (10 e 1.500 kPa) para a predição da disponibilidade de água nos horizontes superficiais de solos em Santa Catarina.

Umidade gravimétrica entre 33 e 1.500 kPa

A estimativa da disponibilidade de água dos horizontes superficiais do solo foi calculada pela diferença da umidade gravimétrica do solo, estimada nas sucções de 33 e 1.500 kPa, por meio de cinco pares de FPTs e também foi estimada diretamente por uma FPT proposta por OLIVEIRA *et al.* (2002). Dentre as seis, o modelo completo de REICHERT *et al.* (2009) foi aquele que melhor estimou o conteúdo de água disponível entre essas sucções (**Figura 13; Tabela 53 e Tabela 54**). A diferença na umidade estimada através desse par de FPTs teve uma raiz do erro quadrático médio pequeno, um índice de eficiência positivo, um índice de concordância alto. Como fatores negativos, esse modelo teve uma leve tendência de superestimar a disponibilidade de água e um desempenho mau.

As FPTs propostas por ARRUDA *et al.* (1987), MASUTTI (1997), OLIVEIRA *et al.* (2002) e do modelo simples de REICHERT *et al.* (2009), não foram adequadas para estimar a umidade disponível entre 33 e 1.500 kPa, visto que, os índices de

eficiência foram negativos e os coeficientes de determinação e índices de concordância obtidos para as equações ajustadas foram muito pequenos, resultando em um desempenho péssimo.

Umidade volumétrica entre 10 e 1.500 kPa

A estimativa da disponibilidade de água dos horizontes superficiais do solo foi calculada pela diferença da umidade volumétrica do solo estimada para as sucções de 10 e 1.500 kPa, por meio de seis pares de FPTs, e também foi estimada diretamente por uma FPT proposta por van den BERG *et al.* (1997).

Através da análise gráfica (**Figura 14**) e dos parâmetros estatísticos avaliados (**Tabela 53** e **Tabela 54**), observou-se que nenhum desses modelos conseguiu estimar adequadamente a disponibilidade de água do solo, pois todos eles resultaram em um índice de eficiência negativo e um baixo índice de desempenho. O resultado do desempenho péssimo ocorreu devido ao coeficiente de correlação linear e ao índice de determinação ser muito baixo. A análise gráfica também demonstra que ocorreu grande discrepância entre as umidades estimadas e medidas para a umidade disponível entre as sucção de 10 a 1.500 kPa (**Figura 14**).

Umidade volumétrica entre 33 e 1.500 kPa

A estimativa da disponibilidade de água dos horizontes superficiais do solo foi calculada pela diferença da umidade volumétrica do solo estimada para as sucções de 33 e 1.500 kPa, por meio de quatro pares de FPTs.

Através da análise gráfica (**Figura 14**) e dos parâmetros estatísticos avaliados (**Tabela 53** e **Tabela 54**), observou-se que somente a função de pedotransferência proposta por TOMASELLA *et al.* (2000) conseguiu estimar razoavelmente a disponibilidade de água do solo, pois a relação entre a disponibilidade de água estimada e a obtida para esse modelo resultou em um índice de eficiência positivo, um erro médio quase nulo e um desempenho mediano.

A estimativa da disponibilidade de água utilizando os modelos de GUPTA e LARSON (1979), SAXTON *et al.* (1986) e SAXTON e RAWLS (2006) foram estatisticamente muito ruins, pois todos esses modelos resultaram em um índice de eficiência negativo e tiveram um desempenho péssimo.

A análise gráfica também demonstra que ocorreu grande discrepância entre as umidades estimadas e medidas para a umidade volumétrica disponível entre as sucção de 33 a 1.500 kPa utilizando os quatro modelos avaliados (**Figura 14**).

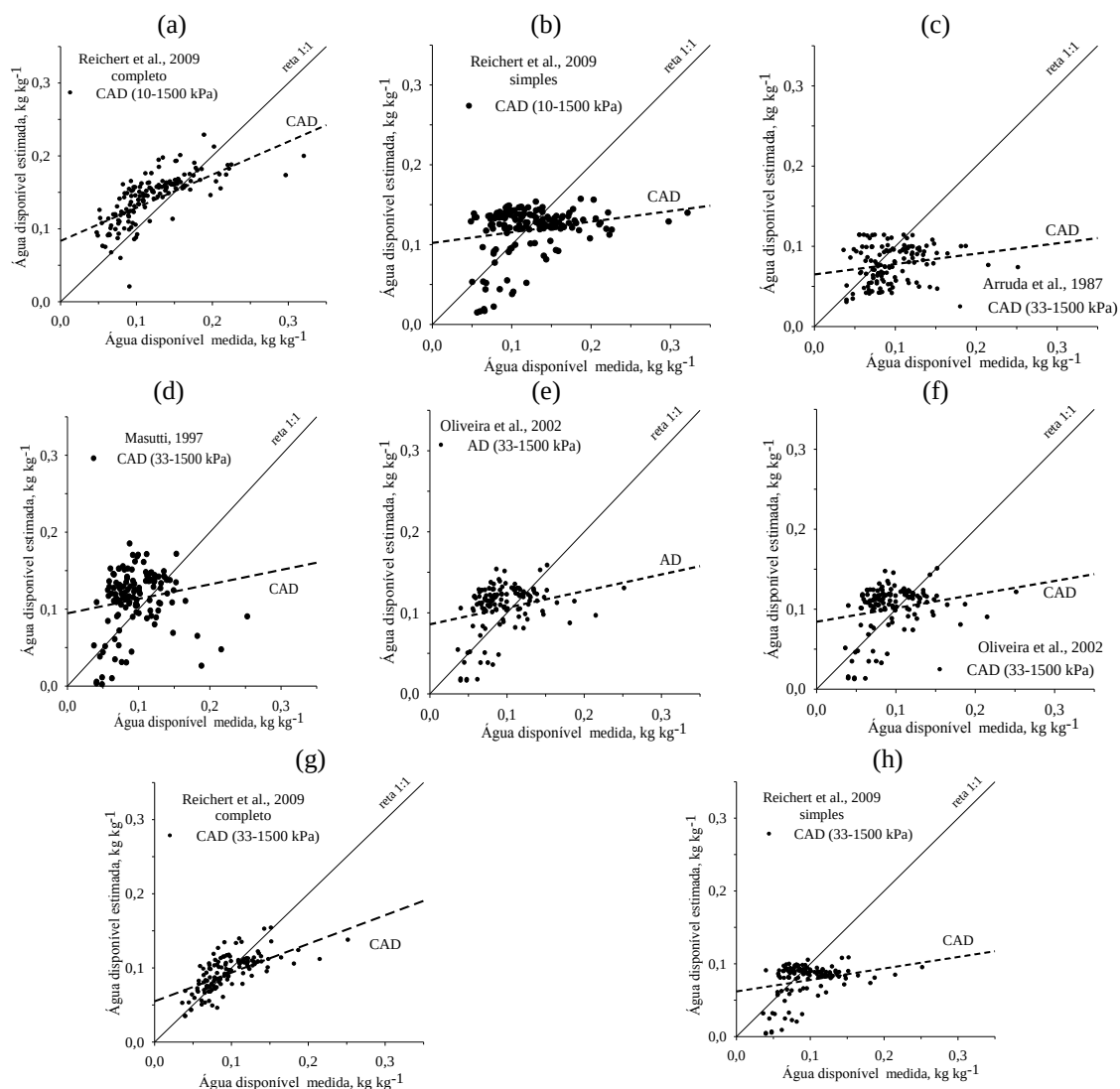


Figura 13. Relação entre a massa de água disponível estimado através de funções de pedotransferência da literatura com a massa de água disponível medida em horizontes superficiais de solos de Santa Catarina, 2012.

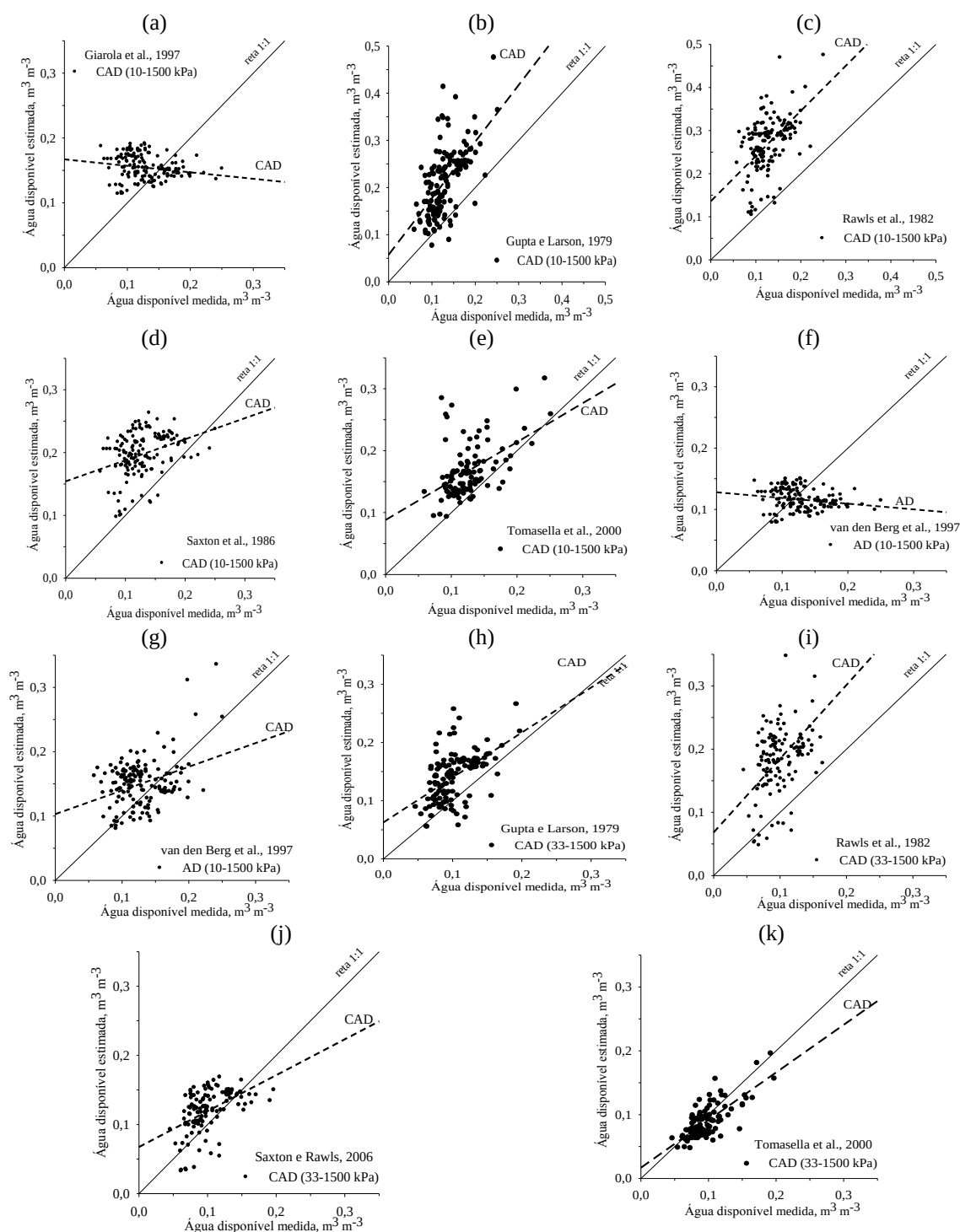


Figura 14. Relação entre o volume de água disponível estimado através de funções de pedotransferência da literatura com o volume de água disponível medido em horizontes superficiais de solos de Santa Catarina, 2012.

Tabela 53. Parâmetros estatísticos e equações ajustadas entre o conteúdo de água disponível medido e a estimado através de equações de pedotransferência da literatura em horizontes superficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Unidade ⁽¹⁾	Sucção (kPa) ⁽²⁾	Equação ⁽³⁾	Obtida Por ⁽⁴⁾	n ⁽⁵⁾	μ_{medida} ⁽⁶⁾	Equação	R ²	a=0 ⁽⁷⁾ (n.m.s.)	b≠1 ⁽⁸⁾ (n.m.s.)
Ug	10-1.500	Re _{completo}	Dif.	150	0,12	ADg _{est} =0,09 + 0,43*ADg _{med}	0,51**	<0,01	<0,01
		Re _{simples}	Dif.	150	0,12	ADg _{est} =0,1 + 0,13*ADg _{med}	0,06**	<0,01	<0,01
	33-1.500	Arr	Dif.	129	0,10	ADg _{est} =0,07 + 0,13*ADg _{med}	0,06**	<0,01	<0,01
		Mas	Dif.	129	0,10	ADg _{est} =0,09 + 0,20*ADg _{med}	0,03*	<0,01	<0,01
		Oli	Eq.	129	0,10	ADg _{est} =0,09 + 0,2*ADg _{med}	0,09**	<0,01	<0,01
		Oli	Dif.	129	0,10	ADg _{est} =0,08 + 0,17*ADg _{med}	0,06**	<0,01	<0,01
		Re _{completo}	Dif.	129	0,10	ADg _{est} =0,06 + 0,39*ADg _{med}	0,45**	<0,01	<0,01
		Re _{simples}	Dif.	129	0,10	ADg _{est} =0,06 + 0,16*ADg _{med}	0,08**	<0,01	<0,01
		Gia	Dif.	150	0,13	ADv _{est} =0,17 + -0,1*ADv _{med}	0,04*	<0,01	<0,01
		Gup	Dif.	150	0,13	ADv _{est} =0,06 + 1,2*ADv _{med}	0,37**	<0,01	0,12
		Raw	Dif.	150	0,13	ADv _{est} =0,14 + 1,05*ADv _{med}	0,27**	<0,01	0,72
		Sax	Dif.	150	0,13	ADv _{est} =0,15 + 0,34*ADv _{med}	0,12**	<0,01	<0,01
Uv	10-1.500	Tom	Dif.	105	0,13	ADv _{est} =0,09 + 0,63*ADv _{med}	0,25**	<0,01	<0,01
		van	Eq.	150	0,13	ADv _{est} =0,13 + -0,09*ADv _{med}	0,04*	<0,01	<0,01
		van	Dif.	150	0,13	ADv _{est} =0,1 + 0,37*ADv _{med}	0,13**	<0,01	<0,01
		Gup	Dif.	129	0,10	ADv _{est} =0,06 + 0,77*ADv _{med}	0,28**	<0,01	0,04
		Raw	Dif.	129	0,10	ADv _{est} =0,07 + 1,16*ADv _{med}	0,29**	<0,01	0,32
		SR	Dif.	129	0,10	ADv _{est} =0,07 + 0,52*ADv _{med}	0,25**	<0,01	<0,01
		Tom	Dif.	105	0,10	ADv _{est} =0,02 + 0,74*ADv _{med}	0,56**	0,01	0,20
	33-1.500								

⁽¹⁾ ug: umidade gravimétrica (kg kg⁻¹) e uv: umidade volumétrica (cm³ cm⁻³). ⁽²⁾ Conteúdo de água disponível obtido pela diferença na umidade do solo entre a sucção inicial (10 ou 33 kPa) e a sucção final (1.500 kPa). ⁽³⁾ Umidade do solo estimada através de uma equação de pedotransferência, sendo Re_{completo}: modelo completo de REICHERT *et al.* (2009); Re_{simples}: modelo somente com a textura de REICHERT *et al.* (2009); Arr: ARRUDA *et al.* (1987); Mas: MASUTTI (1997); Oli: OLIVEIRA *et al.* (2002); Gi: GIAROLA *et al.* (2002); Gup: GUPTA e LARSON (1979); Raw: RAWLS *et al.* (1982); Sax: SAXTON *et al.* (1986); Tom: TOMASELLA *et al.* (2000); van: van den BERG *et al.* (1997); SR: SAXTON e RAWLS (2006). ⁽⁴⁾ Dif.: estimada pela diferença da umidade do solo utilizando funções de pedotransferência propostas na literatura para as sucções de 10, 33 e 1.500 kPa e Eq.: estimada diretamente por uma função de pedotransferência da literatura. ⁽⁵⁾ n: número de pares para gerar a equação. ⁽⁶⁾ μ_{medida} : média do conteúdo de água disponível medido. R²: coeficiente de determinação. Pr > F: nível de significância para o teste F. ⁽⁷⁾ Para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro “a” da equação da reta não difere de zero. ⁽⁸⁾ Para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro “b” da equação da reta não difere de 1. ⁽⁹⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (*, ** e ns: significativo a 5 %, 1 %, e não significativo, respectivamente)

Tabela 54. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de confiança (c) e desempenho entre o conteúdo de água disponível medido e a estimado através de equações de pedotransferência da literatura em horizontes superficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Unidade ⁽¹⁾	Sucção (kPa) ⁽²⁾	Equação ⁽³⁾	Obtida Por ⁽⁴⁾	REQM	RREQM	EM	EF	r	d	c	Desempenho ⁽⁵⁾
ug	10-1.500	Re _{completo}	Dif.	0,02	16	-0,02	0,37	0,72	0,75	0,54	sofrível
		Re _{simples}	Dif.	0,03	24	0,01	-0,06	0,24	0,44	0,10	péssimo
	33-1.500	Arr	Dif.	0,02	20	0,02	-0,27	0,24	0,44	0,11	péssimo
		Mas	Dif.	0,04	41	-0,01	-1,01	0,18	0,27	0,05	péssimo
		Oli	Eq.	0,03	30	-0,01	-0,11	0,29	0,52	0,15	péssimo
		Oli	Dif.	0,03	30	0,00	-0,13	0,25	0,49	0,12	péssimo
		Re _{completo}	Dif.	0,02	20	0,01	0,43	0,67	0,74	0,49	mau
		Re _{simples}	Dif.	0,02	20	0,02	-0,23	0,29	0,48	0,14	péssimo
uv	10-1.500	Gia	Dif.	0,02	15	-0,02	-0,91	0,19	0,32	0,06	péssimo
		Gup	Dif.	0,06	46	-0,08	-6,85	0,61	0,46	0,28	péssimo
		Raw	Dif.	0,06	46	-0,14	-17,76	0,52	0,33	0,17	péssimo
		Sax	Dif.	0,03	23	-0,07	-3,83	0,35	0,30	0,10	péssimo
		Tom	Dif.	0,04	31	-0,04	-0,79	0,50	0,56	0,28	péssimo
		van	Eq.	0,02	15	0,01	-0,59	0,19	0,29	0,06	péssimo
		van	Dif.	0,03	23	-0,02	-0,67	0,36	0,60	0,21	péssimo
		33-1.500	Gup	Dif.	0,04	39	-0,04	-2,46	0,53	0,56	0,30
	Raw		Dif.	0,05	49	-0,09	-5,76	0,53	0,40	0,21	péssimo
	SR		Dif.	0,03	29	-0,02	0,19	0,50	0,66	0,33	péssimo
	Tom		Dif.	0,02	20	0,01	0,77	0,75	0,86	0,64	mediano

⁽¹⁾ ug: umidade gravimétrica (kg kg⁻¹) e uv: umidade volumétrica (cm³ cm⁻³). ⁽²⁾ Conteúdo de água disponível obtido pela diferença na umidade do solo entre a sucção inicial (10 ou 33 kPa) e a sucção final (1.500 kPa). ⁽³⁾ Umidade do solo estimada através de uma equação de pedotransferência, sendo Re_{completo}: modelo completo de REICHERT *et al.* (2009); Re_{simples}: modelo somente com a textura de REICHERT *et al.* (2009); Arr: ARRUDA *et al.* (1987); Mas: MASUTTI (1997); Oli: OLIVEIRA *et al.* (2002); Gi: GIAROLA *et al.* (2002); Gup: GUPTA e LARSON (1979); Raw: RAWLS *et al.* (1982); Sax: SAXTON *et al.* (1986); Tom: TOMASELLA *et al.* (2000); van: van den BERG *et al.* (1997); SR: SAXTON e RAWLS (2006). ⁽⁴⁾ Dif.: estimada pela diferença da umidade do solo utilizando funções de pedotransferência propostas na literatura para as sucções de 10, 33 e 1.500 kPa e Eq.: estimada diretamente por uma função de pedotransferência da literatura. REQM: raiz do erro quadrático médio. RREQM: raiz do erro quadrático médio relativo. EM: erro médio; EF: índice de eficiência (NASH e SUTCLIFFE, 1970); r: índice de correlação linear de Pearson. d: índice de concordância (WILLMOTT, 1981). c: índice de desempenho (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). ⁽⁵⁾ Classificação conforme o índice de concordância segundo CAMARGO e SENTELHAS (1997).

4.3.4 Estimativa da umidade disponível nos horizontes subsuperficiais dos solos de Santa Catarina

O conteúdo de água disponível dos horizontes subsuperficiais do solo foi estimado diretamente através das FPTs propostas por OLIVEIRA *et al.* (2002) e por van den BERG *et al.* (1997) e também foi obtido pela diferença na umidade gravimétrica ou volumétrica do solo entre as sucções de 10 e 1.500 kPa ou 33 e 1.500 kPa, as quais foram estimadas através das FPTs listadas na **Tabela 10** e **Tabela 55**.

Na comparação dos conteúdos estimados com os medidos de água disponível observa-se que a maioria desses modelos não estimou satisfatoriamente a disponibilidade de água dos horizontes subsuperficiais do solo (**Figura 15** e **Figura 16**, **Tabela 55** e **Tabela 56**).

No cálculo de disponibilidade de água utilizando a estimativa da umidade gravimétrica do solo nas sucções de 10 e 1.500 kPa, obtidas pelo modelo completo proposto por REICHERT *et al.* (2009) foi um dos poucos modelos que conseguiu estimar a disponibilidade de água razoavelmente. Ao se comparar a umidade disponível estimada com a medida, observou-se que diferença na umidade gravimétrica estimada por esse par de FPTs (equivalente a umidade disponível) teve uma pequena raiz do erro quadrático médio, razoáveis coeficientes de determinação e índices de concordância (**Tabela 55** e **Tabela 56**). Como fatores negativos, esse modelo teve uma tendência de superestimar a disponibilidade de água, um índice de eficiência positivo e um desempenho mau.

A disponibilidade de água calculada utilizando a estimativa da umidade gravimétrica do solo nas sucções de 33 e 1.500 kPa, obtidas pelo modelo completo proposto por REICHERT *et al.* (2009) foi um dos poucos modelos que conseguiu estimar razoavelmente a disponibilidade de água. Na comparação da diferença entre as umidades estimadas com as medidas observou-se que diferença na umidade gravimétrica estimada por esse par de FPTs (equivalente ao conteúdo de água disponível) teve uma pequena raiz do erro quadrático médio, nenhuma tendência em sub ou superestimar os conteúdos de água medidos, e um índice de concordância razoável (**Tabela 55** e **Tabela 56**). E como fatores negativos, um índice de eficiência próximo de zero, um coeficiente de determinação baixo e um desempenho classificado como péssimo.

Os demais modelos, independentemente de utilizarem a umidade gravimétrica ou volumétrica do solo, ou ainda utilizarem a sucção de 10 ou 33 kPa como limite superior de disponibilidade de água, tiveram um índice de eficiência muito próximo de zero ou negativo, um pequeno coeficiente de determinação obtido para a equação ajustada e também um desempenho classificado como péssimo. A análise gráfica também demonstra que ocorreu grande discrepância entre os volumes estimados e medidos de água disponível para esses modelos (**Figura 15** e **Figura 16**).

Portando, não se recomenda utilização das FPTs de OLIVEIRA *et al.* (2002) e van den BERG *et al.* (1997), que estimam diretamente a disponibilidade de água do solo, e também as FPTs para predição da umidade do solo na sucção de 10, 33 e 1.500 kPa, agrupadas por autor (AD obtida diferença), para a predição da disponibilidade de água nos horizontes superficiais de solos de SC. A única exceção ocorreu para o modelo completo de REICHERT (2009), o qual pode ser utilizado para predição da disponibilidade de água, desde que o estudo realizado não necessite de muita precisão na estimativa.

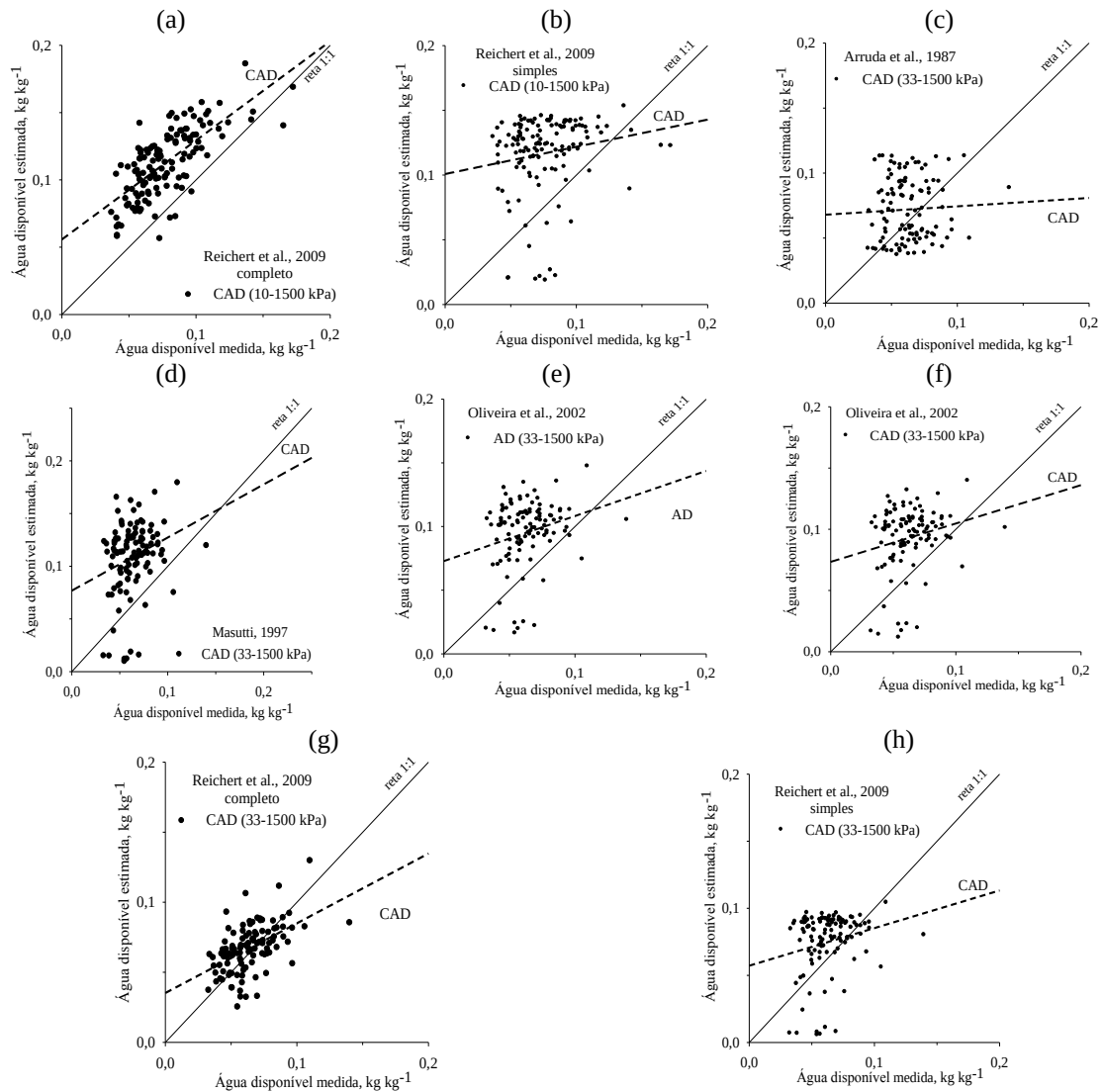


Figura 15. Relação entre a massa de água disponível estimado através de funções de pedotransferência da literatura com a massa de água disponível medida em horizontes subsuperficiais de solos de Santa Catarina, 2012.

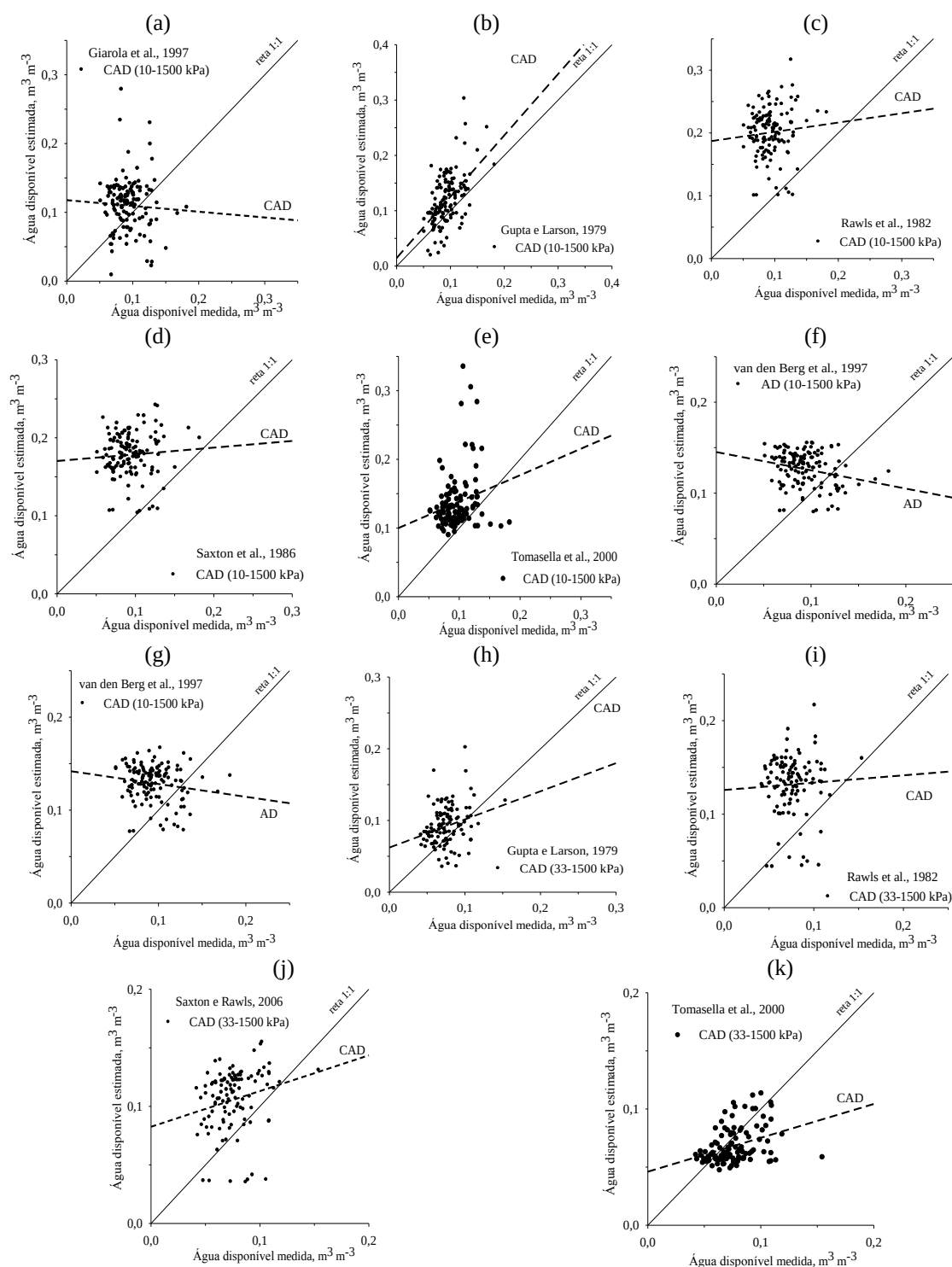


Figura 16. Relação entre o volume de água disponível estimado através de funções de pedotransferência da literatura com o volume de água disponível medido em horizontes subsúperfciaais de solos de Santa Catarina, 2012.

Tabela 55. Parâmetros estatísticos e equações ajustada entre o conteúdo de água disponível medido e a estimado através de equações de pedotransferência da literatura em horizontes subsuperficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Unidade ⁽¹⁾	Sucção (kPa) ⁽²⁾	Equação ⁽³⁾	Obtida Por ⁽⁴⁾	n ⁽⁵⁾	μ_{medida} ⁽⁶⁾	Equação	R ²	a=0 ⁽⁷⁾ (n.m.s.)	b≠1 ⁽⁸⁾ (n.m.s.)
ug	10-1.500	Re _{completo}	Dif.	133	0,08	ADg est=0,06 + 0,74*ADg med	0,51**	<0,01	<0,01
		Re _{simples}	Dif.	133	0,08	ADg est=0,1 + 0,21*ADg med	0,03*	<0,01	<0,01
	33-1.500	Arr	Dif.	110	0,06	ADg est=0,07 + 0,06*ADg med	0 ^{ns}	<0,01	<0,01
		Mas	Dif.	110	0,06	ADg est=0,08 + 0,50*ADg med	0,07**	<0,01	<0,01
		Oli	Eq.	110	0,06	ADg est=0,07 + 0,35*ADg med	0,06*	<0,01	<0,01
			Dif.	110	0,06	ADg est=0,07 + 0,31*ADg med	0,04*	<0,01	<0,01
		Re _{completo}	Dif.	110	0,06	ADg est=0,04 + 0,5*ADg med	0,27**	<0,01	<0,01
		Re _{simples}	Dif.	110	0,06	ADg est=0,06 + 0,27*ADg med	0,04*	<0,01	<0,01
		Gia	Dif.	133	0,09	ADv est=0,12 - 0,08*ADv med	0 ^{ns}	<0,01	<0,01
		Gup	Dif.	133	0,09	ADv est=0,01 + 1,11*ADv med	0,31**	0,32	0,45
		Raw	Dif.	133	0,09	ADv est=0,19 + 0,15*ADv med	0,01 ^{ns}	<0,01	<0,01
		Sax	Dif.	133	0,09	ADv est=0,17 + 0,09*ADv med	0 ^{ns}	<0,01	<0,01
uv	10-1.500	Tom	Dif.	110	0,09	ADv est=0,10 + 0,39*ADv med	0,04*	<0,01	<0,01
		van	Eq.	133	0,09	ADv est=0,15 - 0,2*ADv med	0,06**	<0,01	<0,01
			Dif.	133	0,09	ADv est=0,14 - 0,14*ADv med	0,03 ^{ns}	<0,01	<0,01
		Gup	Dif.	110	0,08	ADv est=0,06 + 0,39*ADv med	0,07**	<0,01	<0,01
		Raw	Dif.	110	0,08	ADv est=0,13 + 0,08*ADv med	0 ^{ns}	<0,01	<0,01
		SR	Dif.	110	0,08	ADv est=0,08 + 0,31*ADv med	0,05*	<0,01	<0,01
		Tom	Dif.	110	0,08	ADv est=0,05 + 0,29*ADv med	0,12**	<0,01	<0,01
	33-1.500								

⁽¹⁾ ug: umidade gravimétrica (kg kg⁻¹) e uv: umidade volumétrica (cm³ cm⁻³). ⁽²⁾ Conteúdo de água disponível obtido pela diferença na umidade do solo entre a sucção inicial (10 ou 33 kPa) e a sucção final (1.500 kPa). ⁽³⁾ Umidade do solo estimada através de uma equação de pedotransferência, sendo Re_{completo}: modelo completo de REICHERT *et al.* (2009); Re_{simples}: modelo somente com a textura de REICHERT *et al.* (2009); Arr: ARRUDA *et al.* (1987); Mas: MASUTTI (1997); Oli: OLIVEIRA *et al.* (2002); Gi: GIAROLA *et al.* (2002); Gup: GUPTA e LARSON (1979); Raw: RAWLS *et al.* (1982); Sax: SAXTON *et al.* (1986); Tom: TOMASELLA *et al.* (2000); van: van den BERG *et al.* (1997); SR: SAXTON e RAWLS (2006). ⁽⁴⁾ Dif.: estimada pela diferença da umidade do solo utilizando funções de pedotransferência propostas na literatura para as sucções de 10, 33 e 1.500 kPa e Eq.: estimada diretamente por uma função de pedotransferência da literatura. ⁽⁵⁾ n: número de pares para gerar a equação. ⁽⁶⁾ μ_{medida} : média do conteúdo de água disponível medido. R²: coeficiente de determinação. Pr > F: nível de significância para o teste F. ⁽⁷⁾ Para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro “a” da equação da reta não difere de zero. ⁽⁸⁾ Para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro “b” da equação da reta não difere de 1. ⁽⁹⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (*, ** e ns: significativo a 5 %, 1 %, e não significativo, respectivamente)

Tabela 56. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de confiança (c) e desempenho entre o conteúdo de água disponível medido e a estimado através de equações de pedotransferência da literatura em horizontes subsuperficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Unidade ⁽¹⁾	Sucção (kPa) ⁽²⁾	Equação ⁽³⁾	Obtida Por ⁽⁴⁾	REQM	RREQM	EM	EF	r	D	c	Desempenho ⁽⁵⁾
ug	10-1.500	Re _{completo}	Dif.	0,02	26	-0,04	-1,67	0,71	0,61	0,43	mau
		Re _{simples}	Dif.	0,03	39	-0,04	-3,72	0,17	0,42	0,07	péssimo
	33-1.500	Arr	Dif.	0,02	31	-0,01	-1,92	0,05	0,41	0,02	péssimo
		Mas	Dif.	0,03	47	-0,05	-9,32	0,26	0,35	0,09	péssimo
		Oli	Eq.	0,03	47	-0,03	-4,70	0,24	0,42	0,10	péssimo
			Dif.	0,03	47	-0,03	-4,37	0,21	0,42	0,09	péssimo
		Re _{completo}	Dif.	0,01	16	0,00	0,04	0,52	0,70	0,37	péssimo
		Re _{simples}	Dif.	0,02	31	-0,01	-1,55	0,21	0,50	0,11	péssimo
	uv	Gia	Dif.	0,04	42	-0,01	-3,94	0,05	0,25	0,01	péssimo
		Gup	Dif.	0,04	42	-0,02	-3,00	0,55	0,57	0,32	péssimo
		Raw	Dif.	0,04	42	-0,11	-24,40	0,09	0,23	0,02	péssimo
		Sax	Dif.	0,03	32	-0,08	-14,85	0,07	0,44	0,03	péssimo
		Tom	Dif.	0,04	42	-0,04	-4,60	0,21	0,38	0,08	péssimo
		van	Eq.	0,02	21	-0,03	-2,99	0,24	0,30	0,07	péssimo
			Dif.	0,02	21	-0,03	-3,22	0,16	0,33	0,05	péssimo
	33-1.500	Gup	Dif.	0,03	39	-0,02	-0,76	0,27	0,48	0,13	péssimo
		Raw	Dif.	0,03	39	-0,06	-11,35	0,05	0,29	0,01	péssimo
		SR	Dif.	0,03	39	-0,03	-3,75	0,22	0,43	0,10	péssimo
		Tom	Dif.	0,01	13	0,01	-0,28	0,35	0,60	0,21	péssimo

⁽¹⁾ ug: umidade gravimétrica (kg kg^{-1}) e uv: umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$). ⁽²⁾ Conteúdo de água disponível obtido pela diferença na umidade do solo entre a sucção inicial (10 ou 33 kPa) e a sucção final (1.500 kPa). ⁽³⁾ Umidade do solo estimada através de uma equação de pedotransferência, sendo Re_{completo}: modelo completo de REICHERT *et al.* (2009); Re_{simples}: modelo somente com a textura de REICHERT *et al.* (2009); Arr: ARRUDA *et al.* (1987); Mas: MASUTTI (1997); Oli: OLIVEIRA *et al.* (2002); Gi: GIAROLA *et al.* (2002); Gup: GUPTA e LARSON (1979); Raw: RAWLS *et al.* (1982); Sax: SAXTON *et al.* (1986); Tom: TOMASELLA *et al.* (2000); van: van den BERG *et al.* (1997); SR: SAXTON e RAWLS (2006). ⁽⁴⁾ Dif.: estimada pela diferença da umidade do solo utilizando funções de pedotransferência propostas na literatura para as sucções de 10, 33 e 1.500 kPa e Eq.: estimada diretamente por uma função de pedotransferência da literatura. REQM: raiz do quadrado médio do erro. RREQM: raiz do quadrado médio do erro relativo, EM: erro médio; EF: índice de eficiência (NASH e SUTCLIFFE, 1970); r: índice de correlação linear de Pearson. d: índice de concordância (WILLMOTT, 1981). c: índice de desempenho (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). ⁽⁵⁾ Classificação conforme o índice de concordância segundo CAMARGO e SENTELHAS (1997).

4.3.5 Considerações gerais

As melhores FPTs para estimar a retenção e disponibilidade de água no solo diferiram entre os horizontes superficiais e subsuperficiais. Na **Tabela 57** e **Tabela 58** foram listadas FPTs recomendadas para utilização da predição da retenção de água nos solos do Estado de Santa Catarina e nos parágrafos seguintes se encontram mais detalhes sobre a capacidade preditiva das funções avaliadas.

4.3.5.1 Sugestões de FPTs da literatura

Quando for estimada a umidade gravimétrica, o modelo completo proposto por REICHERT *et al.* (2009) foi um dos melhores para a predição nas sucções de 10, 33 e 1.500 kPa em ambos os horizontes. Como ressalvas para a utilização desse modelo, destacam-se a sua tendência em subestimar a umidade daqueles solos que têm maior capacidade de retenção de água nas três sucções avaliadas e sua baixa capacidade preditiva do conteúdo de água disponível, especialmente nos horizontes subsuperficiais. Além disso, apesar desse modelo ser expresso em umidade gravimétrica, uma de suas variáveis independentes é a densidade de solo, a qual dificulta sua utilização, pois esse atributo do solo não se encontra medido para a grande parte dos trabalhos de pesquisa na área de solos existentes em Santa Catarina. Entretanto, para algumas classes de solos deste estado existem trabalhos que dispõem dessa informação (BERTOL e SANTOS, 1995; BALDISSERA *et al.*, 1997; ANDREOLA, COSTA e OLSZEWSKI, 2000; BERTOL *et al.*, 2000; BERTOL *et al.*, 2000; BERTOL *et al.*, 2004; BEUTLER *et al.*, 2003; EMBRAPA, 2004; ARGENTON *et al.*, 2005; LUNARDI NETO *et al.*, 2008; COSTA *et al.*, 2009; BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2009; ARRUDA *et al.*, 2010; BERTOL *et al.*, 2010) e podem ser utilizados quando necessário.

No caso de indisponibilidade da densidade do solo, a utilização do modelo simples para umidade do solo nas sucções de 10 e 33 kPa também proposto por REICHERT *et al.* (2009), bem como os modelos de MASUTTI (1997) e OLIVEIRA *et al.* (2002) na sucção de 33 kPa, são alternativas viáveis apenas para a predição da umidade gravimétrica dos horizontes subsuperficiais do solo, pois não necessitam da densidade do solo. Por outro lado, para a predição da umidade volumétrica na sucção de

1.500 kPa pode ser utilizado o modelo proposto por BELL e van KEULEN (1995) para os horizontes superficiais e subsuperficiais do solo.

A melhor predição do modelo completo proposto por REICHERT *et al.* (2009) em relação às demais FPTs da literatura deve-se a localização geográfica do banco de solos utilizado nesse trabalho, o qual foi composto por solos do Estado do Rio Grande do Sul, com muitos solos semelhantes aos existentes no Estado de Santa Catarina.

A boa capacidade preditiva das FPTs de MASUTTI (1997) e OLIVEIRA *et al.* (2002) apenas para os horizontes subsuperficiais do solo está relacionada com a maior semelhança entre teores de matéria orgânica existente nesses horizontes dos solos catarinenses (**Tabela 9**) com aqueles existentes nos solos da nordeste brasileiro (**Tabela 64**), em comparação aos teores observados nos horizontes superficiais do solo.

Para o ponto de murcha permanente, a boa capacidade preditiva da função de BELL e van KEULEN (1995) pode estar relacionada a mineralogia dos solos utilizados por esses autores, pois os solos mexicanos utilizados naquele estudo possuíam alta CTC, resultante do baixo volume médio anual de precipitação e elevada altitude de alguns locais, o que pode favorecer a retenção de água no solo. Isso foi constatado pelos próprios autores, que propuseram uma FPT que utiliza a CTC e a matéria orgânica como variável preditora do PMP para os solos mexicanos (modelo não avaliado para solos catarinenses). Quando o ponto de murcha permanente foi estimado para os solos catarinenses, pode ter ocorrido uma superestimativa da retenção de água nos solos de SC devido ao uso da fração argila como variável preditora na FPT de BELL e van KEULEN (1995) o que pode ter compensado os menores teores de matéria orgânica existentes nos solos mexicanos em comparação aos observados em SC.

Nos solos de Santa Catarina ocorre predomínio de caulinita com argilominerais 2:1 com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas e os teores de matéria orgânica são elevados (ALMEIDA, KÄMPF e ALMEIDA, 1997; ALMEIDA, MAÇANEIRO e KLAMT, 2000; ALMEIDA, TORRENT e BARRÓN, 2003; CORRÊA, 2003; EMBRAPA, 2004; EMBRAPA & EPAGRI, 2008; PAES SOBRINHO, ALMEIDA e ERHART, 2009; BRINGHENTI, 2010; TESKE, 2010), o que pode ter favorecido a retenção de água nesses solos (BAUER e BLACK, 1992; RAWLS, NEMES e PACHEPSKY, 2004; RAWLS *et al.*, 2003).

Tabela 57. Funções de pedotransferência recomendadas para estimar a umidade gravimétrica dos solos de Santa Catarina, 2012.

Sucção (kPa)	Ordem	Função de pedotransferência
Horizontes superficiais		
10	1	Modelo completo de REICHERT <i>et al.</i> (2009)
	2	Modelo simples de REICHERT <i>et al.</i> (2009)
33	1	Modelo completo de REICHERT <i>et al.</i> (2009)
1500	1	BELL e van KEULEN (1995)
Horizontes subsuperficiais		
10	1	Modelo completo de REICHERT <i>et al.</i> (2009)
	2	Modelo simples de REICHERT <i>et al.</i> (2009)
33	1	Modelo completo de REICHERT <i>et al.</i> (2009)
	2	MASUTTI (1997)
	3	Modelo simples de REICHERT <i>et al.</i> (2009)
	4	OLIVEIRA <i>et al.</i> (2002)
1500	1	BELL e van KEULEN (1995)

Quando a retenção de água necessita ser expressa através da umidade volumétrica, a FPT paramétrica de TOMASELLA *et al.* (2000) foi um dos melhores modelos para sua predição nas sucções de 10, 33 e 1.500 kPa, nos horizontes superficiais do solo. Como restrições a utilização desse modelo, o mesmo necessita a divisão da areia em duas classes (fina e grossa), a qual dificulta sua utilização, visto que essa propriedade do solo não se encontra disponível para a maioria dos trabalhos de levantamentos ou de pesquisas de solos existentes no Estado de Santa Catarina, os quais disponibilizam apenas o teor de areia total. Nesse caso, a utilização das FPTs de GIAROLA *et al.* (2002) e RAWLS *et al.* (1982), as quais não necessitam da divisão da areia e nem da densidade do solo, é uma alternativa para a predição da umidade volumétrica dos horizontes superficiais.

Nos horizontes subsuperficiais, a estimativa da umidade volumétrica foi de satisfatória à adequada, utilizando a maioria das FPTs avaliadas (GUPTA e LARSON, 1979, RAWLS *et al.*, 1982, SAXTON *et al.*, 1986, GIAROLA *et al.*, 2002, SAXTON e RAWLS, 2006). As exceções ocorreram para a estimativa da umidade volumétrica nas sucções de 10 e 33 kPa utilizando a função de pedotransferência paramétrica de TOMASELLA *et al.* (2000) e na sucção de 1.500 kPa utilizando a função de pedotransferência de van den BERG *et al.* (1997), as quais não tiveram boa capacidade preditiva.

Como restrições ao uso da maioria desses modelos para predição da umidade gravimétrica ou volumétrica do solo destacam-se a tendência em subestimar a umidade medida dos solos e sua baixa capacidade preditiva do conteúdo de água disponível entre as sucções de 10 e 1.500 e entre 33 e 1.500 kPa, independente do horizonte avaliado.

A boa capacidade preditiva da função de pedotransferência proposta por TOMASELLA *et al.* (2000) apenas para os horizontes superficiais de solos de Santa Catarina, deve-se a ao uso de solos brasileiros para a estimativa dos parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) e à provável predominância de solos dos horizontes superficiais no banco de dados que deu origem a essa FPT. Em relação à FPT proposta por GIAROLA *et al.* (2002), a boa capacidade preditiva se deve a ao uso de solos do Estado de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul no banco de dados que originou as mesmas.

A boa capacidade preditiva das FPTs de RAWLS *et al.* (1982), SAXTON *et al.* (1986) e SAXTON e RAWLS (2006) pode estar associada ao grande número de amostras utilizadas no banco de dados que as originaram (superior a 2.000 amostras), que, embora sejam de solos americanos podem ter favorecido uma melhor percepção da relação entre a retenção de água com os demais atributos físicos do solo. Por outro lado, a boa capacidade preditiva das FPTs propostas por GUPTA e LARSON (1979) ocorreu devida à ampla variação de classes texturais e mineralogia da fração argila utilizado no banco de dados, a partir do qual essas FPTs foram geradas, observado pelos próprios autores do estudo. Contudo, as FPTs derivadas de solos dos Estados Unidos tiveram elevadas raízes do erro quadrático médio, que associadas ao baixo erro médio, indicam que houve grande dispersão dos valores estimados em relação à reta 1:1, observando-se subestimativa e superestimativa da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente em uma mesma FPT.

A pior capacidade preditiva das FPTs propostas por van den BERG *et al.* (1997) deve-se à diferença de clima entre os solos de Santa Catarina e os solos utilizados para geração dessas funções. Isso porque, Santa Catarina possui um clima subtropical ou temperado, enquanto que os solos utilizados por van den BERG *et al.* (1997) eram de locais com clima tropical, os quais possuíam argila de atividade baixa e eram predominantemente classificados como Ferrasols, que correspondem aos Latossolos na classificação brasileira (EMBRAPA, 2006).

Tabela 58. Funções de pedotransferência recomendadas para estimar a umidade volumétrica dos solos de Santa Catarina, 2012.

Sucção (kPa)	Ordem	Função de pedotransferência
Horizontes superficiais		
10	1	TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)
	2	GIAROLA <i>et al.</i> (2002)
33	1	TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)
	2	GUPTA e LARSON (1979)
1500	1	TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)
	2	RAWLS <i>et al.</i> (1982)
	3	GUPTA e LARSON (1979)
Horizontes subsuperficiais		
10	1	TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)
	2	GIAROLA <i>et al.</i> (2002)
	3	SAXTON <i>et al.</i> (1986)
	4	RAWLS <i>et al.</i> (1982)
33	1	SAXTON e RAWLS, (2006)
	2	GUPTA e LARSON (1979),
	3	RAWLS <i>et al.</i> (1982)
1500	1	GUPTA e LARSON (1979)
	2	RAWLS <i>et al.</i> (1982)

4.3.5.2 Comparação entre horizontes superficiais e subsuperficiais

A predição da retenção de água para as FPTs avaliadas, expressa pela umidade gravimétrica do solo, foi melhor nos horizontes subsuperficiais do solo em comparação a predição nos horizontes superficiais, pois a maioria dos modelos teve melhores índices estatísticos em subsuperfície, conforme observado para os modelos de ARRUDA *et al.* (1987), BELL & van KEULEN (1995), MASUTTI (1997), OLIVEIRA *et al.* (2002) e modelos simples e completo propostos por REICHERT *et al.* (2009). Todavia, todos eles tiveram tendência de subestimar a umidade do solo medida em ambos os horizontes.

Nos modelos que expressam a retenção de água em umidade volumétrica também foi observada melhor predição da umidade do solo nos horizontes subsuperficiais nas FPTs desenvolvidas por GUPTA e LARSON (1979), RAWLS *et al.* (1982), SAXTON *et al.* (1986), GIAROLA *et al.* (2002), e SAXTON e RAWLS (2006). As exceções ocorreram somente para a umidade do solo nas sucções de 10, 33 e 1.500 kPa estimadas pelo modelo de TOMASELLA *et al.* (2000), para o qual se observou tendência inversa, ou seja, a estimativa dessas três umidades foi melhor nos horizontes superficiais. Outro modelo que diferiu dos demais em relação à melhora da predição da umidade em subsuperfície foram as FPTs propostas por van den BERG *et al.* (1997), para as quais a capacidade preditiva da umidade do solo nas sucções de 10 e 1.500 kPa não se alterou.

A pior predição da umidade gravimétrica ou volumétrica nos horizontes superficiais do solo em comparação aos horizontes subsuperficiais, pode ser devida à maior intensidade de ação dos fatores de formação, além do efeito do uso e manejo do solo. Nos horizontes superficiais, solos com textura muito parecida podem ter grandes diferenças de estrutura ou no teor de matéria orgânica, influenciados pela gênese ou pelo uso/manejo do solo, geralmente observados em estudos da gênese do solo (ALMEIDA, TORRENT e BARRÓN, 2003; CORRÊA, 2003; PAES SOBRINHO, ALMEIDA e ERHART, 2009; EMBRAPA, 2004; CONCEIÇÃO *et al.*, 2005; ARGENTON *et al.*, 2005). Consequentemente, a retenção de água entre horizontes de um mesmo solo será distinta, o que dificulta a predição da umidade do solo por FPTs, especialmente aquelas geradas a partir de solos de outras regiões.

4.3.5.3 Considerações a respeito do erro médio

Como a maioria das FPTs publicadas na literatura teve tendência de subestimativa da umidade do solo (**Tabela 50**, **Tabela 52**, **Tabela 54**, **Tabela 56**), ou seja, o erro médio foi positivo, fez-se um estudo mais detalhado dos erros médios entre a umidade do solo medida e a estimada pelas FPTs. Com o objetivo de descobrir se a classe textural do solo influenciou a super ou subestimativa da umidade do solo foi calculado o erro médio, para cada uma das classes texturais. Adicionalmente, em cada classe textural foi calculado o teor médio de matéria orgânica, pois a maior capacidade de retenção de água de alguns solos poderia estar relacionada à interação entre esses dois atributos do solo.

Antes de comentar os resultados obtidos para o detalhamento do erro médio é importante salientar que o número de amostras em algumas classes texturais do solo foi muito pequeno (**Tabela 59**), o que aumenta a incerteza sobre o erro médio obtido para as classes areia, franco argilo arenoso, franco siltoso e franco argilo siltoso nos horizontes superficiais e para as classes areia, areia franca, franco arenoso, franco e argila siltosa dos horizontes superficiais.

De modo geral, analisando a **Tabela 60** e **Tabela 61**, percebe-se que o erro médio da umidade gravimétrica do solo estimada pelas FPTs foi menor para as classes areia, franco arenoso nos dois horizontes e também nas classes areia franca, franco e franco argiloso dos horizontes subsuperficiais (embora tenham um baixo número de

repetições). Consequentemente, o erro médio foi positivo na média das classes texturais porque os solos catarinenses com textura mais fina (siltosos ou argilosos) retêm maior conteúdo de água do que solos das regiões que deram origem às FPTs avaliadas.

No caso do erro médio de predição da umidade volumétrica do solo houve uma maior interação entre as FPTs avaliadas, a sucção aplicada e a classe textural do solo, pois o erro médio foi pequeno nas classes: areia, franco arenoso (nos dois horizontes) e areia franca (no horizonte subsuperficial). Além dessas, as classes franco (nos dois horizontes) e franco siltoso (no horizonte superficial) também tiveram pequenos erros médios nas sucções de 10 e 33 kPa para a maioria das FPTs. (**Tabela 62** e **Tabela 63**). As classes texturais com erros médios elevados para a maioria das FPTs foram a franco argilo arenoso nos dois horizontes e franco argilo siltoso no horizonte superficial.

As classes franco, argilo arenoso, franco siltoso, franco, franco argilo siltoso, franco argiloso, argila siltosa e argila tiveram um erro médio alto e positivo nas FPTs que estimam a retenção de água na sucção de 1.500 kPa, indicando subestimativa da umidade do solo pelos modelos avaliados.

Tabela 59. Número de amostras utilizadas para calcular o erro médio (EM) entre os dados medidos e estimados por equações de pedotransferência separadas por classe textural para os horizontes superficiais e subsuperficiais de solos de Santa Catarina, 2012.

Classe Textural	Horizonte (n.)	
	Superficial	Subsuperficial
Areia	5	6
Areia Franca	-	1
Franco Arenoso	10	2
Franco Argilo Arenoso	2	9
Franco Siltoso	6	-
Franco	17	1
Franco Argilo Siltoso	6	-
Franco Argiloso	42	19
Argila Siltosa	9	1
Argila	33	34
Muito Argiloso	32	60
Total	162	133

Tabela 60. Erro médio (EM) entre os dados medidos e estimados por equações de pedotransferência (umidade gravimétrica) separados por classe textural do solo, utilizando horizontes superficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Sucção (kPa)	Equação ⁽¹⁾	Classes Texturais ⁽²⁾										
		Areia	Are Fr	Fr Aren	Fr Arg Aren	Fr Sil	Franco	Fr Arg Sil	Fr Arg	Arg Sil	Argila	Mt Arg
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)		12	-	20	38	40	44	65	46	63	52	49
10	Re _{completo}	0,00	-	0,03	0,04	0,05	0,10	0,08	0,07	0,08	0,08	0,04
	Re _{simples}	0,06	-	0,08	0,08	0,08	0,14	0,13	0,11	0,14	0,13	0,09
33	Arr	0,04	-	0,00	0,04	0,08	0,09	0,18	0,09	0,15	0,16	0,13
	Mas	0,09	-	0,08	0,10	0,08	0,12	0,14	0,10	0,11	0,14	0,06
	Oli	0,08	-	0,08	0,11	0,12	0,16	0,18	0,14	0,16	0,17	0,10
	Re _{completo}	0,03	-	0,04	0,07	0,07	0,11	0,12	0,09	0,10	0,13	0,07
	Re _{simples}	0,05	-	0,06	0,10	0,11	0,14	0,17	0,12	0,15	0,17	0,10
1500	Arr	0,02	-	0,04	0,09	0,06	0,12	0,10	0,09	0,11	0,13	0,09
	Bel	-0,01	-	-0,01	-0,04	0,02	-0,06	-0,09	-0,05	-0,07	-0,05	-0,10
	Mas	0,05	-	0,07	0,11	0,14	0,16	0,14	0,13	0,14	0,14	0,09
	Oli	0,04	-	0,07	0,12	0,15	0,18	0,17	0,15	0,17	0,17	0,12
	Re _{completo}	0,03	-	0,04	0,07	0,09	0,11	0,09	0,09	0,10	0,11	0,07
	Re _{simples}	0,01	-	0,04	0,09	0,08	0,13	0,12	0,10	0,13	0,15	0,11

⁽¹⁾ Umidade do solo estimada através de uma equação de pedotransferência, sendo Re1: modelo completo de REICHERT *et al.* (2009); Re2: modelo simples de REICHERT *et al.* (2009); Arr: ARRUDA *et al.* (1987); Mas: MASUTTI (1997); Oli: OLIVEIRA *et al.* (2002).

⁽²⁾ Classes texturais do solo (USDA, 1975), sendo Are Fr: Areia Franca; Fr Aren: Franco Arenoso; Fr Arg Aren: Franco Argilo Arenoso; Fr Sil: Franco Siltoso; Fr Arg Sil: Franco Argilo Siltoso; Fr Arg: Franco Argiloso; Arg Sil: Argila Siltosa; Mt Arg: Muito Argiloso.

Tabela 61. Erro médio (EM) entre os dados medidos e estimados por equações de pedotransferência (umidade gravimétrica) separados por classe textural do solo, utilizando horizontes subsuperficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Sucção (kPa)	Equação ⁽¹⁾	Classes Texturais ⁽²⁾										
		Areia	Are Fr	Fr Aren	Fr Arg Aren	Fr Sil	Franco	Fr Arg Sil	Fr Arg	Arg Sil	Argila	Mt Arg
	Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	6	5	13	16	-	21	-	20	39	19	19
10	Re _{completo}	0,02	0,04	-0,01	0,06	-	-0,01	-	0,03	0,17	0,07	0,06
	Re _{simples}	0,06	0,07	0,02	0,07	-	0,00	-	0,02	0,21	0,07	0,07
33	Arr	0,04	0,03	-0,03	0,03	-	-0,01	-	0,01	0,26	0,09	0,12
	Mas	0,10	0,09	0,04	0,09	-	-0,01	-	0,04	0,19	0,07	0,06
	Oli	0,08	0,08	0,05	0,11	-	0,04	-	0,07	0,24	0,11	0,10
	Re _{completo}	0,05	0,06	0,02	0,09	-	0,01	-	0,06	0,20	0,10	0,10
	Re _{simples}	0,06	0,06	0,03	0,09	-	0,02	-	0,06	0,23	0,10	0,10
	Arr	0,03	0,02	0,02	0,08	-	0,00	-	0,05	0,20	0,10	0,12
1500	Bel	0,03	0,02	-0,01	0,05	-	0,04	-	0,04	0,14	0,07	0,05
	Mas	0,06	0,05	0,05	0,11	-	0,08	-	0,10	0,26	0,13	0,12
	Oli	0,05	0,05	0,05	0,11	-	0,08	-	0,11	0,27	0,14	0,13
	Re _{completo}	0,03	0,03	0,02	0,08	-	0,04	-	0,06	0,22	0,11	0,10
	Re _{simples}	0,02	0,01	0,01	0,08	-	0,02	-	0,06	0,22	0,11	0,13
	Arr	0,03	0,02	0,02	0,08	-	0,00	-	0,05	0,20	0,10	0,12

⁽¹⁾ Umidade do solo estimada através de uma equação de pedotransferência, sendo Re1: modelo completo de REICHERT *et al.* (2009); Re2: modelo simples de REICHERT *et al.* (2009); Arr: ARRUDA *et al.* (1987); Mas: MASUTTI (1997); Oli: OLIVEIRA *et al.* (2002).

⁽²⁾ Classes texturais do solo (USDA, 1975), sendo Are Fr: Areia Franca; Fr Aren: Franco Arenoso; Fr Arg Aren: Franco Argilo Arenoso; Fr Sil: Franco Siltoso; Fr Arg Sil: Franco Argilo Siltoso; Fr Arg: Franco Argiloso; Arg Sil: Argila Siltosa; Mt Arg: Muito Argiloso.

Tabela 62. Erro médio (EM) entre os dados medidos e estimados por equações de pedotransferência (umidade volumétrica) separados por classe textural do solo, utilizando horizontes superficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Sucção (kPa)	Equação ⁽¹⁾	Classes Texturais ⁽²⁾										
		Areia	Are Fr	Fr Aren	Fr Arg Aren	Fr Sil	Franco	Fr Arg Sil	Fr Arg	Arg Sil	Argila	Mt Arg
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)		12	-	20	38	40	44	65	46	63	52	49
10	Gia	0,06	-	0,08	0,11	-0,02	0,07	0,04	0,07	0,02	0,06	-0,01
	Gup	-0,02	-	0,00	0,02	-0,11	-0,01	-0,08	-0,03	-0,11	-0,07	-0,16
	Raw	-0,01	-	-0,01	-0,04	-0,10	-0,05	-0,15	-0,07	-0,17	-0,14	-0,23
	Sax	0,02	-	0,04	0,09	0,04	0,09	0,06	0,08	0,02	0,00	-0,12
	Tom	-0,12	-	0,01	0,08	0,01	0,02	0,09	0,04	0,08	0,10	0,07
	van	0,02	-	0,08	0,12	0,08	0,12	0,10	0,12	0,08	0,10	0,03
33	Gup	0,01	-	0,01	0,06	-0,04	0,05	-0,02	0,01	-0,05	-0,03	-0,14
	Raw	0,02	-	0,02	0,01	-0,02	0,02	-0,08	0,00	-0,11	-0,09	-0,19
	SR	0,09	-	0,08	0,11	0,09	0,13	0,10	0,10	0,06	0,05	-0,06
	Tom	0,05	-	0,08	0,13	0,05	0,08	0,13	0,08	0,11	0,14	0,11
1500	Gia	0,08	-	0,09	0,14	-0,01	0,05	0,03	0,06	0,04	0,11	0,06
	Gup	0,01		0,03	0,08	0,06	0,06	0,04	0,05	0,02	0,02	-0,10
	Raw	0,01	-	0,03	0,08	0,09	0,05	0,04	0,05	0,02	0,02	-0,09
	Sax	0,03	-	0,06	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,12	0,09	-0,05
	SR	0,06	-	0,08	0,13	0,15	0,14	0,13	0,13	0,10	0,09	-0,04
	Tom	0,05	-	0,06	0,13	0,06	0,09	0,14	0,07	0,11	0,13	0,10
	van	0,02	-	0,06	0,14	0,07	0,10	0,11	0,11	0,11	0,14	0,08

⁽¹⁾ Umidade do solo estimada através de uma equação de pedotransferência, sendo Gi: GIAROLA *et al.* (2002); Gup: GUPTA e LARSON (1979); Raw: RAWLS *et al.* (1982); Sax: SAXTON *et al.* (1986); Tom: TOMASELLA *et al.* (2000); van: van den BERG *et al.* (1997); SR: SAXTON e RAWLS (2006).

⁽²⁾ Classes texturais do solo (USDA, 1975), sendo Are Fr: Areia Franca; Fr Aren: Franco Arenoso; Fr Arg Aren: Franco Argilo Arenoso; Fr Sil: Franco Siltoso; Fr Arg Sil: Franco Argilo Siltoso; Fr Arg: Franco Argiloso; Arg Sil: Argila Siltosa; Mt Arg: Muito Argiloso.

Tabela 63. Erro médio (EM) entre os dados medidos e estimados por equações de pedotransferência (umidade volumétrica) separados por classe textural do solo, utilizando horizontes subsuperficiais de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Sucção (kPa)	Equação ⁽¹⁾	Classes Texturais ⁽²⁾										
		Areia	Are Fr	Fr Aren	Fr Arg Aren	Fr Sil	Franco	Fr Arg Sil	Fr Arg	Arg Sil	Argila	Mt Arg
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)		6	5	13	16	-	21	-	20	39	19	19
10	Gia	0,07	0,09	0,04	0,11	-	-0,05	-	0,06	0,05	0,08	0,06
	Gup	0,01	0,05	-0,02	0,07	-	-0,11	-	0,04	-0,08	0,01	-0,05
	Raw	0,02	0,04	-0,04	0,03	-	-0,08	-	-0,01	-0,06	-0,02	-0,09
	Sax	0,03	0,03	0,00	0,08	-	0,00	-	0,06	0,07	0,02	-0,07
	Tom	-0,10	-0,03	0,02	0,09	-	0,02	-	0,05	0,18	0,15	0,15
	van	0,05	0,07	0,04	0,14	-	0,06	-	0,13	0,15	0,15	0,10
33	Gup	0,04	0,05	0,00	0,06	-	-0,05	-	0,04	-0,01	0,02	-0,06
	Raw	0,06	0,07	0,00	0,07	-	-0,01	-	0,06	0,01	0,03	-0,05
	SR	0,11	0,11	0,05	0,10	-	0,04	-	0,08	0,13	0,05	-0,01
	Tom	0,07	0,09	0,06	0,14	-	0,05	-	0,10	0,21	0,18	0,19
1500	Gia	0,00	0,00	0,02	0,09	-	-0,09	-	0,05	0,05	0,09	0,10
	Gup	0,02	0,01	0,00	0,08		0,01		0,07	0,09	0,05	-0,04
	Raw	0,03	0,02	0,02	0,11	-	0,07	-	0,12	0,13	0,10	0,02
	Sax	0,03	0,02	0,03	0,14	-	0,11	-	0,16	0,19	0,12	0,01
	SR	0,07	0,06	0,05	0,13	-	0,10	-	0,15	0,18	0,11	0,02
	Tom	0,06	0,06	0,05	0,13	-	0,04	-	0,10	0,19	0,16	0,18
	van	0,03	0,03	0,04	0,15	-	0,04	-	0,15	0,17	0,18	0,16

⁽¹⁾ Umidade do solo estimada através de uma equação de pedotransferência, sendo Gi: GIAROLA *et al.* (2002); Gup: GUPTA e LARSON (1979); Raw: RAWLS *et al.* (1982); Sax: SAXTON *et al.* (1986); Tom: TOMASELLA *et al.* (2000); van: van den BERG *et al.* (1997); SR: SAXTON e RAWLS (2006).

⁽²⁾ Classes texturais do solo (USDA, 1975), sendo Are Fr: Areia Franca; Fr Aren: Franco Arenoso; Fr Arg Aren: Franco Argilo Arenoso; Fr Sil: Franco Siltoso; Fr Arg Sil: Franco Argilo Siltoso; Fr Arg: Franco Argiloso; Arg Sil: Argila Siltosa; Mt Arg: Muito Argiloso.

Uma propriedade que poderia estar contribuindo para uma maior retenção de água nos solos de Santa Catarina é a mineralogia da fração argila, pois ela é considerada uma importante preditora na habilidade do solo em reter e disponibilizar água (RAWLS, GISH e BRAKENSIEK, 1991; BAUMER e BRASHER, 1982). Contudo, segundo BRUAND (2004), apesar de importante, os efeitos da mineralogia da argila sobre as propriedades hidráulicas do solo ainda foram pouco explorados. Esse autor fez uma revisão sobre estudos que relacionam o teor de matéria orgânica com a retenção de água do solo na literatura internacional e concluiu que, dos poucos estudos existentes, a maioria convergem para a importância da mineralogia na retenção de água no solo. O autor também destaca que os estudos existentes indicam que a mineralogia da fração argila influencia mais a capacidade de campo do que o ponto de murcha permanente.

A importância da mineralogia foi destacada por TOMASSELLA e HODNETT (1998), que compararam seu efeito sobre os parâmetros da equação de van GENUCHTEN utilizando solos de diferentes regiões tropicais (inclusive brasileiros) e temperadas, e concluíram que os solos cauliníticos possuem maiores valores de α (alfa) do que os com predominância de montmorilonita, ou seja, solos cauliníticos perdem água mais rapidamente ao longo da curva de retenção de água. GAISER, GRAEF e CORDEIRO (2000) investigaram a relação entre a retenção de água e a mineralogia da argila em solos de regiões tropicais semi-áridas (Brasil e Nigéria) e concluíram que solos com argila de atividade baixa com textura variando de arenosa a franca tem menor capacidade de campo (sucção de 33 kPa) do que solos com argila de atividade alta.

Devido à dificuldade em determinar a proporção exata de cada um dos argilominerais do solo, a CTC do solo pode ser utilizada como indicador da atividade da argila em solos com baixo teor de MO (BRUAND, 2004). Essa propriedade do solo foi utilizada por PACHEPSKY e RAWLS (1999), que observaram que a CTC da fração argila é um preditor essencial da retenção de água na CC e no PMP. A mesma relação também foi constatada por TESSIER, BIGORRE e BRUAND (1999). REICHERT *et al.* (2009) também observaram maior retenção de água em Vertissolos (ricos em argilominerais 2:1) do Estado do Rio Grande do Sul, em comparação com solos de mesma classe textural com predominância de caulinita.

Os estudos sobre a mineralogia da fração argila nos solos de Santa Catarina foram realizados para a maioria das regiões geográficas desse Estado, os quais foram resumidamente descritos nos texto que segue abaixo.

Nos solos das regiões da Serra Leste e do Vale do Itajaí, além da predominância da caulinita, ocorrem argilominerais 2:1 em proporções variáveis na forma de mica (illita), clorita, vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas, e interestratificados illita-vermiculita (PAES SOBRINHO, ALMEIDA e ERHART, 2009; BRINGHENTI, 2010).

Nos solos do planalto catarinense também predomina a caulinita, e ocorrem proporções expressivas de vermiculitas com hidróxi-Al entrecamadas, e em menores quantidades: micas (ou illita), goethita, gibbsita, quartzo, interestratificados caulinita-esmectita ou illita-esmectita (ALMEIDA, KÄMPF e ALMEIDA, 1997; ALMEIDA, MAÇANEIRO e KLAMT, 2000; EMBRAPA & EPAGRI, 2008; TESKE, 2010)

Nos solos do Oeste Catarinense, em sua maioria derivados de basalto, a caulinita também é o argilomineral predominante. Além desse argilomineral, nas áreas de relevo suave ondulado ou ondulado (BRASIL, 1986; SANTA CATARINA, 1986) e nos topos das encostas basálticas com elevada altitude (CORRÊA, 2003), também ocorrem pequenas quantidades de argilominerais do tipo 2:1 com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas, goethita e/ou hematita e em proporções menores ocorrem gibbsita e quartzo (CORRÊA, 2003; ALMEIDA, TORRENT e BARRÓN, 2003; EMBRAPA & EPAGRI, 2008). Nas áreas de encostas basálticas do Oeste também ocorre o predomínio de caulinita, associada à presença de interestratificados caulinita-vermiculita, esmectita e hematita. Nessas encostas, as proporções de esmectita e hematita aumentam com a redução da altitude, favorecidas pelas temperaturas mais altas que induzem a uma maior evapotranspiração potencial. A redução da evapotranspiração potencial em combinação com as elevadas declividades do terreno afetam o fluxo lixiviante de bases no solo, o que favorece a formação de argilominerais do tipo 2:1 (CORRÊA, 2003).

Nas faixas próximas do litoral de SC predominam solos com altos teores de areia, desenvolvidos sobre sedimentos litorâneos, nos quais o quartzo é o mineral predominante (EMBRAPA, 2004).

Diante do exposto em relação à mineralogia dos solos de SC, o efeito da mineralogia da fração argila não parece ser o motivo de subestimativa da retenção de água nesses solos utilizando FPTs de outros locais, uma vez que os estudos sobre essa propriedade em solos catarinenses apontam para a ocorrência da predominância absoluta de caulinita em todos os perfis de solo estudados até o momento. Associada à caulinita também foram observados alguns argilominerais 2:1 e óxidos de ferro. Esses

estudos indicam que os argilominerais dos solos de Santa Catarina se assemelham a solos de clima tropical, pois a fração da argila foi predominantemente caulinítica.

O teor de COT, principalmente nos horizontes superficiais do solo, foi elevado para a grande maioria dos perfis de solos estudados até o momento (**Tabela 9**) quando comparado a solos de outras regiões do Brasil (**Tabela 64**). Como a retenção de água é uma função complexa, dependente da composição e da estrutura do solo, atributos estes afetados pelo teor de MO (WÖSTEN, PACHEPSKY e RAWLS, 2001), consequentemente, a retenção e a disponibilidade de água em solos catarinenses é dependente do teor de MO.

RAWLS, NEMES e PACHEPSKY (2004) fizeram uma revisão sobre estudos que relacionam os efeitos do MO sobre a retenção de água, e observaram contradições sobre a ausência ou presença de seu efeito, atribuindo essas contradições ao pequeno número de solos de regiões específicas que a maioria dos trabalhos nessa linha de pesquisa tem utilizado. Um dos estudos mais completos foi publicado por RAWLS *et al.* (2003), os quais utilizaram um grande banco de dados de solos dos Estados Unidos para avaliar o efeito da matéria orgânica sobre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Os autores concluíram que a relação entre a retenção de água com o teor de MO é afetada pela distribuição granulométrica do solo; a capacidade de campo é mais afetada pelo teor de MO do que o ponto de murcha permanente; solos mais arenosos são mais sensíveis ao teor de MO em comparação aos solos de textura mais fina e em solos com baixo teor de MO; seu aumento eleva a retenção de água em solos de textura mais grosseira e diminui a retenção de água nos de textura fina. Em solos com alto teor de MO, o acréscimo do teor de MO aumenta a retenção de água, independentemente da textura do solo.

O efeito da MO sobre a disponibilidade de água foi avaliada por HUDSON (1994), o qual encontrou uma relação positiva entre esses dois atributos e atribuiu esse aumento ao maior efeito da MO sobre o aumento da capacidade de campo, em comparação ao observado no ponto de murcha permanente. OLNES e ARCHER (2005) também avaliaram essa relação, e concluíram que um acréscimo de 0,6 % no teor de MO eleva de 2 a mais de 5% o conteúdo de água disponível, dependendo da textura do solo. Também observaram que os maiores aumentos do conteúdo de água disponível com o aumento de matéria orgânica ocorreram em solos de textura franca.

No Brasil, BRAIDA *et al.* (2011) fizeram uma revisão sobre estudos que relacionam o teor de matéria orgânica com retenção de água e concluíram que não há um consenso sobre a contribuição desse atributo na retenção e disponibilidade de água dos solos brasileiros, embora, a maioria dos estudos tenha comprovado que existe relação positiva entre esses atributos. Concluem afirmando sobre a necessidade de realização de mais estudos para elucidar essa relação, especialmente em solos brasileiros, os quais são constituídos predominantemente por caulinita e óxidos de ferro e de alumínio, e em menor proporção, por mineiras do tipo 2:1. No estado de Santa Catarina não foram encontrados estudos específicos sobre a relação entre o teor de MO e a retenção e/ou disponibilidade de água no solo.

As diferenças na capacidade de campo e ponto de murcha permanente estimada pelas FPTs e medidas nos solos de Santa Catarina provavelmente estão associadas aos maiores teores de MO (**Tabela 9**) em comparação aqueles existentes nos bancos de dados que deram origem as FPTs da literatura (**Tabela 64**). Essa explicação é aplicável especialmente nos horizontes superficiais do solo, onde a qualidade de predição da CC e do PMP foi ruim para a maioria das FPTs e o teor médio de MO dos solos de Santa Catarina foi duas vezes superior daqueles observados nos bancos de dados da literatura.

A causa dos altos teores de MO observados nos solos de Santa Catarina pode estar associada ao clima do Estado, o qual é mesotérmico úmido (sem estação seca), segundo a classificação de Köppen, subdividido em regiões com em Clima subtropical úmido (Cfa) e clima temperado (Cfb) (EPAGRI/CIRAM, 2002). A precipitação média anual varia de 1.200 mm a 2.300 mm, sendo bem distribuída ao longo do ano e os maiores volumes costumam ser registrados na região Nordeste e os menores na região Sul deste Estado (EPAGRI/CIRAM, 2002). A variação do clima está muito relacionada a altitude, a qual varia desde 0 m no litoral até 1840 m no Morro da Igreja, no município de Urubici.

O favorecimento do acúmulo de matéria orgânica no solo em climas frios e úmidos já foi constatado em diferentes ecossistemas (KÄMPF e SCHWERTMANN, 1983; KER, 1997; TATE, 1992; CHEN e CHIU, 2000; DALMOLIN *et al.*, 2006). Além disso, nas regiões do Planalto e do Oeste do Estado de Santa Catarina predominam solos com textura mais fina (ALMEIDA, KÄMPF e ALMEIDA, 1997; ALMEIDA, MAÇANEIRO e KLAMT, 2000; ALMEIDA, TORRENT e BARRÓN, 2003; CORRÊA, 2003; EMBRAPA & EPAGRI, 2008; TESKE, 2010), sendo que o aumento

do teor de argila e/ou argila+silte do solo favorece o acúmulo de MO no solo (FELLER e BEARE, 1997; TOGNON, DEMATTÊ e DEMATTÊ, 1998; JASTROW, AMONETTE e BAILEY, 2007; DIECKOW *et al.*, 2009), pois essa fração granulométrica dificulta a decomposição da matéria orgânica devido à sua capacidade de proteção química e física (OADES, 1988; BALDOCK e SKJEMSTAD, 2000). Enquanto que, nas regiões do Vale do Itajaí, Serra Leste e Litoral Sul predominam solos com textura mais variável, desde muito fina até grosseira, que associados ao clima mais quente (Cfa), resultaram na predominância de solos com teores variando entre baixo até médio de MO (PAES SOBRINHO, ALMEIDA e ERHART, 2009; BRINGHENTI, 2010; EMBRAPA, 2004).

O efeito dos altos teores de MO e dos baixos teores de areia nos solos de Santa Catarina pode ser observado pela redução na densidade do solo, principalmente nos horizontes superficiais do solo. A densidade do solo média e as densidades extremas inferiores e superiores foram menores nos solos de Santa Catarina (**Tabela 9**), em relação aquelas observadas nos banco de dados das FPTs da literatura (**Tabela 65**). O mesmo ocorreu para os teores médios de areia total, os quais foram inferiores (**Tabela 9**) em comparação aquelas observadas nos banco de dados para a maioria das FPTs publicadas na literatura (**Tabela 66**).

Tabela 64. Estatística descritiva dos teores de matéria orgânica (g kg^{-1}) existentes nos bancos de dados das funções de pedotransferência avaliadas.

Banco de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
GUPTA e LARSON (1979)	- ⁽¹⁾	-	0	230
RAWLS <i>et al.</i> (1982)	7	-	1	125
SAXTON <i>et al.</i> (1986)	-	-	-	-
BELL & van KEULEN (1995)	19	3	10	32
MASUTTI (1997)	8,3	8,6	0,6	48,9
van den BERG <i>et al.</i> (1997)	-	-	2	90
TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)	9	-	0,6	60
GIAROLA <i>et al.</i> (2002)	23	15	5	67,8
OLIVEIRA <i>et al.</i> (2002)	-	-	-	-
SAXTON e RAWLS (2006)	28	-	-	80
REICHERT <i>et al.</i> (2009)	20	20	0	100

⁽¹⁾ - = não informado pelo autor de cada estudo.

Tabela 65. Estatística descritiva da densidade do solo (g cm^{-3}) existentes nos bancos de dados das funções de pedotransferência avaliadas.

Banco de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
GUPTA e LARSON (1979)	- ⁽¹⁾	-	0,74	1,74
RAWLS <i>et al.</i> (1982)	1,42	-	0,10	2,09
SAXTON <i>et al.</i> (1986)	-	-	-	-
BELL & van KEULEN (1995)	-	-	-	-
MASUTTI (1997)	1,47	0,65	1,17	1,87
van den BERG <i>et al.</i> (1997)	-	-	0,80	1,60
TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)	1,27	0,21	0,78	1,91
GIAROLA <i>et al.</i> (2002)	1,28	0,24	0,85	1,76
OLIVEIRA <i>et al.</i> (2002)	1,50	0,21	1,02	2,06
SAXTON e RAWLS (2006)	-	-	1,00	1,80
REICHERT <i>et al.</i> (2009)	1,43	0,21	0,86	1,85

⁽¹⁾ - = não informado pelo autor de cada estudo.

Tabela 66. Estatística descritiva das frações granulométricas dos solos (g kg^{-1}) existentes nos bancos de dados das funções de pedotransferência avaliadas.

Banco de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Argila				
GUPTA e LARSON (1979)	-	-	0	650
RAWLS <i>et al.</i> (1982)	180	-	1	940
SAXTON <i>et al.</i> (1986)	Não informado	-	-	-
BELL & van KEULEN (1995)	275	49	-	-
MASUTTI (1997)	404	252	46	830
van den BERG <i>et al.</i> (1997)	-	-	100	950
TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)	437	234	17	960
GIAROLA <i>et al.</i> (2002)	426	225	60	810
OLIVEIRA <i>et al.</i> (2002)	313	179	20	830
SAXTON e RAWLS (2006)	-	-	-	600
REICHERT <i>et al.</i> (2009)	330	170	10	820
Silte				
GUPTA e LARSON (1979)	-	-	0	720
RAWLS <i>et al.</i> (1982)	260	-	1	930
SAXTON <i>et al.</i> (1986)	Não informado	-	-	-
BELL & van KEULEN (1995)	437	51	-	-
MASUTTI (1997)	136	96	13	330
van den BERG <i>et al.</i> (1997)	Não informado	-	-	-
TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)	157	160	0	710
GIAROLA <i>et al.</i> (2002)	226	75	99	418
OLIVEIRA <i>et al.</i> (2002)	136	85	10	457
SAXTON e RAWLS (2006)	Não informado	-	-	-
REICHERT <i>et al.</i> (2009)	260	100	10	780
Areia				
GUPTA e LARSON (1979)	-	-	50	980
RAWLS <i>et al.</i> (1982)	560	-	1	990
SAXTON <i>et al.</i> (1986)	Não informado	-	-	-
BELL & van KEULEN (1995)	281	65	-	-
MASUTTI (1997)	452	252	70	921
van den BERG <i>et al.</i> (1997)	Não informado	-	-	-
TOMASELLA <i>et al.</i> (2000)	406	-	-	-
GIAROLA <i>et al.</i> (2002)	347	-	-	-
OLIVEIRA <i>et al.</i> (2002)	550	201	50	950
SAXTON e RAWLS (2006)	Não informado	-	-	-
REICHERT <i>et al.</i> (2009)	410	160	10	990

⁽¹⁾ - não informado pelo autor de cada estudo.

4.3.6 Considerações finais

As FPTs publicadas na literatura possuem melhor capacidade preditiva da capacidade de campo e do ponto de murcha dos solos de Santa Catarina, em comparação à estimativa do conteúdo de água disponível.

A estimativa da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente é melhor quando são utilizadas FPTs que se originaram a partir de solos de regiões climáticas mais parecidas com aquelas que ocorrem no Estado de Santa Catarina, o qual tem clima subtropical e temperado.

A predição da retenção de água para as FPTs avaliadas, expressa pela umidade gravimétrica ou volumétrica do solo, é pior nos horizontes superficiais, em comparação a predição nos horizontes subsuperficiais.

A maioria das FPTs avaliadas subestimou a retenção de água, com menor erro médio para capacidade de campo em comparação ao ponto de murcha permanente. Os maiores erros médios ocorreram geralmente para solos com teores de argila variando entre 200 a 600 g kg⁻¹.

A geração de FPTs exclusivamente com solos do Estado Santa Catarina deve ser realizada para melhorar a estimativa da retenção e da disponibilidade de água as plantas para solos desse Estado.

4.4 ESTUDO 4: FPTs CONTÍNUAS E PARAMÉTRICAS PARA SOLOS

4.4.1 FPTs contínuas pontuais para solos de Santa Catarina

4.4.1.1 Modelo 1: Granulometria do solo

No modelo 1 foram utilizados os teores de areia, silte e argila como possíveis variáveis preditoras. A areia foi a principal variável para estimar a retenção de água (**Tabela 67**). Solos com mais areia tiveram menor retenção de água. Além da fração areia, o teor de silte também foi significativo em algumas FPTs, e seu aumento também resultou na redução do PMP, na equação gerada com todos os horizontes e também na umidade do solo na sucção de 10 kPa (CC10) e 33 kPa (CC33) nos horizontes superficiais. Entretanto, nos horizontes subsuperficiais com maior teor de silte, o PMP foi mais alto.

O efeito positivo da fração argila e negativo da fração areia sobre a retenção de água já foi observado em vários estudos que propuseram FPTs para predição da umidade do solo baseadas somente na granulometria (BURROWS e KIRKHAM, 1958; GUPTA e LARSON, 1979; RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON, 1982; BELL e van KEULEN, 1995; van den BERG *et al.*, 1997; REICHERT *et al.*, 2009).

Os coeficientes de determinação e a raiz do erro quadrático médio, obtidos na geração das FPTs, indicam que a estimativa da CC10, CC33 e PMP foi muito semelhante entre as FPTs dos horizontes agrupados (superficial mais subsuperficial) ou dos superficiais e foram melhores nas FPTs dos horizontes subsuperficiais. A diferença desses indicadores pode estar associada ao efeito não linear das frações granulométricas do solo sobre a retenção de água, ou ao maior efeito da MO sobre a retenção de água nos horizontes superficiais, atributo com maior teor médio e desvio padrão nesses horizontes, a qual não foi inserida nas FPTs desse modelo.

Na validação das FPTs dos horizontes agrupados, observou-se que, na média dos bancos 1 e 4, as umidades estimadas na retenção de água diferiram das medidas (REMQ) em aproximadamente $|0,06| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram próximas da relação 1:1 ($0,50 \leq EF \leq 0,60$; $0,82 \leq d \leq 0,86$) e tiveram médias muito parecidas ($0 \% \leq \text{PBIAS} \leq 3\%$). Isso resultou em um desempenho entre sofrível a bom dessas FPTs (**Tabela 68**). A capacidade preditiva das FPTs geradas para horizontes agrupados foi menor para os

horizontes superficiais (bancos 2 e 5) em comparação com aquela obtida nos horizontes subsuperficiais (bancos 3 e 6), e essa diferença pode ser atribuída aos maiores efeitos da MO e do manejo do solo sobre a retenção de água nos horizontes superficiais, o que aumenta a variabilidade dos atributos hidráulicos em solos de textura semelhante.

Tabela 67. Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 1: Granulometria do solo e suas interações**, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo (sucção)	Horizonte utilizado	Intercepto	Parâmetro 1	Parâmetro 2	R ² (2)	R ² ajustado (3)	REMQ (4) (cm ³ cm ⁻³)	CV (5) (%)
CC10	A+B	0,54	-0,347*a ⁽¹⁾	-	0,63	0,63	0,07	15
CC33	A+B	0,52	-0,349*a	-	0,63	0,62	0,07	16
PMP	A+B	0,48	-0,385*a	-0,137*b	0,69	0,68	0,06	18
AD10	A+B	0,06	0,045*a	0,168*b	0,30	0,29	0,03	25
AD33	A+B	0,04	0,036*a	0,134*b	0,31	0,30	0,02	25
CC10	A	0,65	-0,47*a	-0,197*c	0,62	0,61	0,08	17
CC33	A	0,60	-0,448*a	-0,174*c	0,62	0,61	0,07	18
PMP	A	0,39	-0,313*a	-	0,68	0,67	0,06	20
AD10	A	0,09	0,125*b	-	0,23	0,22	0,03	25
AD33	A	0,05	0,028*a	0,135*b	0,28	0,26	0,03	26
CC10	B	0,56	-0,356*a	-	0,69	0,68	0,06	12
CC33	B	0,54	-0,362*a	-	0,68	0,67	0,06	13
PMP	B	0,34	-0,239*a	0,172*c	0,75	0,74	0,05	14
AD10	B	0,11	-0,04*c	0,057*b	0,19	0,17	0,02	20
AD33	B	0,08	-0,031*c	0,054*b	0,19	0,17	0,02	22

⁽¹⁾ a: teor de areia (kg kg⁻¹); b: teor de silte (kg kg⁻¹); c: teor de argila (kg kg⁻¹).

⁽²⁾ R²: coeficiente de determinação; ⁽³⁾ R² ajust.: coeficiente de determinação ajustado; REMQ: raiz média do erro e; CV: coeficiente de variação.

Tabela 68. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 1** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
-	-	-	cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de ajuste horizontes, A+B/C														
CC10	A+B	151	0,07	15	0,00	0	0,63	0,88	0,79	0,70	bom	0,17**	0,63**	0,63
CC33	A+B	151	0,07	16	0,00	0	0,63	0,88	0,79	0,69	bom	0,16**	0,63**	0,63
PMP	A+B	151	0,06	18	0,00	0	0,69	0,90	0,83	0,75	bom	0,11**	0,69**	0,69
AD10	A+B	151	0,03	25	0,00	0	0,30	0,66	0,55	0,36	péssimo	0,08**	0,3**	0,30
AD33	A+B	151	0,02	25	0,00	0	0,31	0,66	0,55	0,36	péssimo	0,06**	0,31**	0,31
CC10	A	151	0,07	16	0,05	5	0,56	0,85	0,78	0,66	bom	0,17**	0,58**	0,60
CC33	B	151	0,07	15	-0,02	-3	0,62	0,88	0,79	0,70	bom	0,17**	0,65**	0,63
PMP	A	151	0,07	17	0,06	7	0,53	0,84	0,77	0,65	mediano	0,16**	0,56**	0,59
AD10	B	151	0,07	16	-0,03	-4	0,61	0,87	0,79	0,69	bom	0,17**	0,65**	0,63
AD33	A	151	0,07	19	0,07	9	0,58	0,86	0,82	0,70	bom	0,11**	0,59**	0,67
CC10	B	151	0,06	18	-0,03	-5	0,66	0,90	0,83	0,75	bom	0,11**	0,73**	0,69
CC33	A	151	0,03	26	-0,03	-11	0,07	0,57	0,45	0,26	péssimo	0,1**	0,21**	0,21
PMP	B	151	0,03	26	0,02	9	0,15	0,51	0,52	0,26	péssimo	0,08**	0,18**	0,27
AD10	A	151	0,02	25	-0,01	-6	0,26	0,65	0,55	0,36	péssimo	0,07**	0,3**	0,30
AD33	B	151	0,02	28	-0,02	-10	0,01	0,43	0,37	0,16	péssimo	0,09**	0,09**	0,14
Validação: banco de ajuste, horizontes A														
CC10	A+B	57	0,08	18	-0,01	-3	0,57	0,86	0,76	0,65	mediano	0,18**	0,62**	0,58
CC33	A+B	57	0,08	19	-0,02	-5	0,56	0,86	0,77	0,66	mediano	0,17**	0,64**	0,59
PMP	A+B	57	0,06	21	-0,02	-8	0,58	0,88	0,80	0,71	bom	0,1**	0,74**	0,65
AD10	A+B	57	0,03	25	0,01	7	0,18	0,59	0,50	0,29	péssimo	0,08**	0,27**	0,25
AD33	A+B	57	0,03	26	0,00	5	0,25	0,61	0,52	0,32	péssimo	0,07**	0,27**	0,27
CC10	A	57	0,07	17	0,00	0	0,62	0,87	0,79	0,68	bom	0,17**	0,62**	0,62
CC33	B	57	0,08	18	-0,03	-6	0,53	0,85	0,76	0,65	mediano	0,19**	0,63**	0,58
PMP	A	57	0,07	18	0,00	0	0,62	0,87	0,79	0,68	bom	0,15**	0,62**	0,62
AD10	B	57	0,08	19	-0,04	-9	0,49	0,84	0,77	0,65	mediano	0,17**	0,66**	0,59
AD33	A	57	0,06	20	0,00	0	0,68	0,90	0,82	0,74	bom	0,1**	0,68**	0,68
CC10	B	57	0,07	22	-0,04	-13	0,46	0,86	0,80	0,68	bom	0,11**	0,78**	0,64
CC33	A	57	0,03	25	0,00	0	0,23	0,58	0,48	0,28	péssimo	0,1**	0,23**	0,23
PMP	B	57	0,03	26	0,02	17	-0,18	0,46	0,43	0,20	péssimo	0,09**	0,14**	0,18
AD10	A	57	0,03	26	0,00	0	0,28	0,63	0,53	0,33	péssimo	0,07**	0,28**	0,28
AD33	B	57	0,03	28	0,00	1	0,14	0,36	0,41	0,15	péssimo	0,09**	0,1**	0,17
Validação: banco de ajuste, horizontes B/C														
CC10	A+B	68	0,06	12	0,01	3	0,67	0,90	0,83	0,74	bom	0,15**	0,67**	0,69
CC33	A+B	68	0,06	13	0,02	4	0,65	0,89	0,82	0,73	bom	0,14**	0,65**	0,68
PMP	A+B	68	0,05	14	0,02	5	0,71	0,91	0,86	0,78	muito bom	0,09**	0,71**	0,75
AD10	A+B	68	0,02	21	-0,01	-8	-0,01	0,60	0,40	0,24	péssimo	0,08**	0,27**	0,16
AD33	A+B	68	0,02	22	0,00	-5	0,09	0,60	0,42	0,25	péssimo	0,06**	0,26**	0,17
CC10	A	68	0,06	13	0,04	9	0,46	0,83	0,80	0,66	bom	0,15**	0,59**	0,64
CC33	B	68	0,06	12	0,00	0	0,69	0,90	0,83	0,75	bom	0,15**	0,69**	0,69
PMP	A	68	0,06	14	0,05	11	0,39	0,81	0,79	0,64	mediano	0,15**	0,57**	0,63
AD10	B	68	0,06	13	0,00	0	0,68	0,90	0,82	0,74	bom	0,15**	0,68**	0,68
AD33	A	68	0,06	15	0,05	15	0,41	0,82	0,85	0,70	bom	0,09**	0,6**	0,73
CC10	B	68	0,05	14	0,00	0	0,75	0,92	0,86	0,80	muito bom	0,1**	0,75**	0,75
CC33	A	68	0,02	23	-0,02	-22	-1,06	0,47	0,21	0,10	péssimo	0,11**	0,11**	0,04
PMP	B	68	0,02	20	0,00	0	0,19	0,54	0,43	0,23	péssimo	0,08**	0,19**	0,19
AD10	A	68	0,02	22	-0,01	-12	-0,14	0,57	0,39	0,22	péssimo	0,07**	0,24**	0,15
AD33	B	68	0,02	23	-0,01	-20	-0,72	0,47	0,21	0,10	péssimo	0,09**	0,06**	0,04

Continua.....

... continuação

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
-	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de validação, horizontes A+B/C														
CC10	A+B	140	0,06	13	0,00	4	0,37	0,77	0,65	0,50	mau	0,24**	0,45**	0,42
CC33	A+B	98	0,06	13	0,00	1	0,58	0,85	0,77	0,65	mediano	0,18**	0,57**	0,59
PMP	A+B	140	0,07	19	0,00	6	0,33	0,75	0,63	0,47	mau	0,18**	0,43**	0,40
AD10	A+B	140	0,03	28	0,00	-3	0,18	0,57	0,44	0,25	péssimo	0,1**	0,21**	0,19
AD33	A+B	88	0,02	23	0,00	5	0,34	0,70	0,62	0,43	mau	0,06**	0,33**	0,38
Validação: banco de validação, horizontes A														
CC10	A	149	0,06	13	0,01	6	0,29	0,75	0,63	0,47	mau	0,24**	0,44**	0,40
CC33	B	149	0,06	13	0,00	2	0,41	0,78	0,65	0,51	mau	0,25**	0,46**	0,42
PMP	A	98	0,06	14	0,02	4	0,50	0,82	0,74	0,61	sofrível	0,19**	0,53**	0,55
AD10	B	98	0,06	13	-0,01	-3	0,57	0,85	0,77	0,65	mediano	0,19**	0,59**	0,59
AD33	A	140	0,07	20	0,01	12	0,14	0,69	0,62	0,43	mau	0,19**	0,36**	0,39
CC10	B	140	0,07	20	-0,01	2	0,34	0,75	0,60	0,45	mau	0,2**	0,43**	0,36
CC33	A	140	0,03	29	0,00	-11	0,03	0,52	0,40	0,20	péssimo	0,11**	0,15**	0,16
PMP	B	140	0,03	29	0,01	9	0,07	0,43	0,41	0,18	péssimo	0,09**	0,11**	0,17
AD10	A	88	0,02	23	0,00	0	0,37	0,70	0,61	0,43	mau	0,07**	0,33**	0,38
AD33	B	88	0,03	27	0,00	1	0,15	0,37	0,45	0,17	péssimo	0,09**	0,1**	0,20
Validação: banco de validação, horizontes A														
CC10	A+B	92	0,06	13	0,01	3	0,30	0,72	0,58	0,42	mau	0,27**	0,4**	0,34
CC33	A+B	71	0,06	13	0,00	0	0,43	0,79	0,67	0,53	sofrível	0,22**	0,5**	0,44
PMP	A+B	83	0,06	19	0,00	1	0,37	0,75	0,61	0,46	mau	0,19**	0,42**	0,38
AD10	A+B	83	0,03	25	0,00	5	0,08	0,50	0,34	0,17	péssimo	0,11**	0,15**	0,12
AD33	A+B	61	0,02	21	0,01	9	0,07	0,59	0,47	0,27	péssimo	0,07**	0,23**	0,22
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A	92	0,06	13	0,01	3	0,30	0,74	0,59	0,44	mau	0,26**	0,42**	0,35
CC33	B	92	0,06	13	0,00	0	0,32	0,73	0,58	0,43	mau	0,28**	0,41**	0,34
PMP	A	71	0,05	13	0,01	2	0,44	0,80	0,67	0,54	sofrível	0,21**	0,5**	0,46
AD10	B	71	0,06	13	-0,01	-3	0,39	0,79	0,67	0,53	sofrível	0,22**	0,52**	0,44
AD33	A	83	0,06	19	0,02	6	0,30	0,71	0,60	0,42	mau	0,2**	0,36**	0,36
CC10	B	83	0,07	19	-0,01	-3	0,30	0,72	0,58	0,42	mau	0,21**	0,41**	0,33
CC33	A	83	0,03	26	0,00	-1	0,07	0,40	0,27	0,11	péssimo	0,12**	0,09**	0,08
PMP	B	83	0,03	25	0,02	17	-0,30	0,51	0,42	0,21	péssimo	0,1**	0,09**	0,18
AD10	A	61	0,02	21	0,00	4	0,17	0,59	0,46	0,27	péssimo	0,08**	0,23**	0,21
AD33	B	61	0,02	23	0,01	9	-0,07	0,44	0,29	0,13	péssimo	0,09**	0,06**	0,08
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A+B	57	0,06	13	0,03	6	0,43	0,81	0,73	0,59	sofrível	0,2**	0,52**	0,54
CC33	A+B	27	0,06	14	0,01	2	0,73	0,91	0,87	0,79	muito bom	0,15**	0,65**	0,76
PMP	A+B	57	0,07	18	0,05	13	0,18	0,75	0,69	0,52	sofrível	0,14**	0,5**	0,47
AD10	A+B	57	0,03	28	-0,02	-20	-0,79	0,53	0,26	0,14	péssimo	0,1**	0,2**	0,07
AD33	A+B	27	0,02	27	-0,01	-7	-0,11	0,53	0,27	0,14	péssimo	0,07**	0,16**	0,07
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A	57	0,06	13	0,05	10	0,28	0,77	0,76	0,59	sofrível	0,2**	0,49**	0,58
CC33	B	57	0,06	13	0,02	4	0,50	0,82	0,73	0,61	sofrível	0,21**	0,53**	0,54
PMP	A	27	0,06	14	0,05	11	0,56	0,85	0,87	0,74	bom	0,14**	0,58**	0,76
AD10	B	27	0,06	14	-0,01	-1	0,74	0,91	0,87	0,80	muito bom	0,15**	0,67**	0,76
AD33	A	57	0,07	17	0,08	20	-0,16	0,69	0,74	0,51	mau	0,14**	0,45**	0,54
CC10	B	57	0,07	18	0,03	9	0,32	0,79	0,67	0,53	sofrível	0,15**	0,53**	0,46
CC33	A	57	0,03	27	-0,03	-31	-1,59	0,46	0,21	0,10	péssimo	0,11**	0,11**	0,04
PMP	B	57	0,02	25	-0,01	-8	-0,07	0,52	0,27	0,14	péssimo	0,09**	0,13**	0,07
AD10	A	27	0,02	27	-0,01	-14	-0,32	0,49	0,25	0,12	péssimo	0,07**	0,14**	0,06
AD33	B	27	0,02	27	-0,02	-24	-0,89	0,44	0,08	0,04	péssimo	0,09**	0,02**	0,01

(1) Números entre parêntesis para os atributos do solo correspondem a sucção aplicada para a umidade do solo (CC e PMP) e a sucção no limite superior no conteúdo e água disponível (AD); (2) Horizonte utilizado como banco de dados para ajuste da função de pedotransferência. (3) Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro “a” da equação da reta não difere de zero. (4) Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro “b” da equação da reta não difere de 1.

Algumas FPTs também foram desenvolvidas a partir de alguns solos do Estado de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina por GIAROLA, SILVA e IMHOFF (2002), para a predição da CC10 e do PMP, utilizando somente os teores de argila e silte do solo e obtiveram um coeficiente de determinação próximo de 0,80. Já, OLIVEIRA *et al.* (2002) desenvolveram FPTs para solos do Estado de Pernambuco, para a predição da CC33 somente com esses dois atributos do solo e obtiveram um coeficiente de determinação de 0,96. Os coeficientes de determinação obtidos nas FPTs dos horizontes agrupados para solos catarinenses para a predição desses atributos foram inferiores aos desses dois estudos ($0,63 \leq R^2 \leq 0,69$). Entretanto, foram melhores do que aqueles obtidos por REICHERT *et al.* (2009) na geração de FPTs para solos do Estado de Rio Grande do Sul para a predição da CC10, da CC33 e do PMP, os quais obtiveram coeficientes de determinação próximos de 0,48.

Para o conteúdo de água disponível, as FPTs geradas indicaram que as frações areia e silte aumentam a disponibilidade de água no solo quando os horizontes foram agrupados, enquanto que o aumento da fração argila diminui a disponibilidade (**Tabela 67**). Esses resultados são opostos àqueles obtidos por van den BERG, KLAMT *et al.* (1997), os quais observaram efeito positivo do teor de argila para a predição da AD (10-1.500 kPa) na geração de FPTs para Oxisols de regiões de clima tropical. Todavia, o coeficiente de determinação das FPTs foi baixo nas FPTs catarinenses ($R^2 \leq 0,31$) e para a FPT dos Oxisols ($R^2 = 0,21$) propostas por van den BERG *et al.* (1997), o que indica que a predição da AD foi ruim nos dois estudos, e que as considerações sobre a influência das variáveis preditoras sobre a disponibilidade de água devem ser cautelosas.

Na validação das FPTs dos horizontes agrupados, observou-se, na média dos bancos 1 e 4, que as AD estimadas diferiram das medidas (REQM) em aproximadamente $|0,03| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram afastadas da relação 1:1 ($0,24 \leq EF \leq 0,32$; $0,62 \leq d \leq 0,68$) e tiveram médias muito parecidas ($-2 \% \leq \text{PBIAS} \leq 3 \%$) (**Tabela 68**). Isso resultou em um desempenho péssimo dessas FPTs. A capacidade preditiva das FPTs geradas para horizontes agrupados foi maior para os horizontes superficiais (bancos 2 e 5) comparadas as obtidas para os horizontes subsuperficiais (bancos 3 e 6). A causa do maior erro na estimativa da AD nos horizontes subsuperficiais está associada provavelmente ao menor desvio padrão e menor amplitude da AD10 e AD33 nesses horizontes, em relação aos horizontes superficiais.

As FPTs que utilizam somente a granulometria do solo para estimar a AD10 e AD33 não são recomendadas para uso nos solos catarinenses, devido a baixa capacidade preditiva das mesmas. Em outros estudos isso também foi constatado (van den BERG *et al.*, 1997; ASSAD *et al.*, 2001; REICHERT *et al.*, 2009).

4.4.1.2 Modelo 2: Granulometria do solo e suas interações

As FPTs para estimar a retenção ou disponibilidade de água através dos teores de areia, silte e argila em escala original, transformada ou pelo seu efeito multiplicativo, indicou que o efeito das frações granulométricas sobre a retenção ou disponibilidade de água dos solos não ocorre de forma linear, pois as variáveis independentes selecionadas pelo programa estatístico foram aquelas transformadas ou multiplicadas entre si para todas as 15 FPTs geradas no modelo 2.

Os coeficiente de determinação das FPTs para a retenção ou disponibilidade de água geralmente foram maiores no modelo 2 em relação ao modelo 1, com diferenças entre -0,04 a 0,08 (**Tabela 69**). Os maiores ganhos foram para as FPTs que estimam a CC10 e CC33 dos horizontes agrupados ou dos subsuperficiais. Em relação à AD10 e AD33, foram observados aumentos desse coeficiente apenas nas FPTs geradas para os horizontes superficiais. Quanto à raiz do erro médio ao quadrado, essa permaneceu inalterada ou reduziu em $0,01 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Para a AD, embora os teores de areia, silte e argila não estejam em escala original, as FPTs geradas indicaram que a disponibilidade de água no solo aumenta com as frações areia e silte e diminui com a fração argila. Assim como no Modelo 1, observou-se maiores coeficientes de determinação nas FPTs para a retenção de água dos horizontes subsuperficiais, ocorrendo situação inversa para a disponibilidade de água, que teve um coeficiente 0,15 unidades maior nas FPTs dos horizontes superficiais agrupados ou isolados

Na validação das FPTs dos horizontes agrupados, observou-se que, na média dos bancos 1 e 4, as umidades estimadas nas sucções de 10, 33 e 1.500 kPa diferiram das medidas (REMQ) em aproximadamente $|0,06| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram próximas da relação 1:1 ($0,55 \leq EF \leq 0,67$; $0,85 \leq d \leq 0,90$), tiveram médias muito parecidas ($-1 \% \leq PBIAS \leq 2\%$) e um desempenho entre mediano a bom (**Tabela 70**). As disponibilidades de água, estimadas diferiram das medidas em aproximadamente $|0,03| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram um pouco afastadas da relação 1:1 ($0,24 \leq EF \leq 0,34$; $0,62 \leq d \leq 0,69$) e tiveram médias

parecidas ($-2 \% \leq \text{PBIAS} \leq 3 \%$), o que resultou em um desempenho entre mau a péssimo dessas FPTs. Esses indicadores foram apenas um pouco melhores do que aqueles do Modelo 1 e os resultados das demais comparações realizadas no Modelo anterior se mantiveram-se iguais. A transformação das variáveis não melhorou satisfatoriamente a estimativa da disponibilidade de água nos solos, o que resulta na necessidade de utilização de modelos com maior quantidade de atributos físicos do solo com as variáveis preditoras.

Tabela 69. Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 2: Granulometria do solo e suas interações**, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo (sucção)	Horizonte	Intercepto	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	Parâmetro 4	R ² (2)	R ² ajustado (3)	REMQ (4) (cm ³ cm ⁻³)	CV (5) (%)
CC10	A+B	0,48	$0,0187*1/\sqrt{b}^{(1)}$	$-0,477*a^2$	-	-	0,69	0,68	0,06	14
CC33	A+B	0,39	$1,328*b^2*c^2$	$-0,225*c^2$	$-0,228*\ln(\sqrt{b})$	$-0,753*a^2$	0,70	0,70	0,06	15
PMP	A+B	0,32	$-0,132*\ln(\sqrt{b})$	$-0,552*a^2$	-	-	0,74	0,74	0,06	17
AD10	A+B	0,09	$0,21*a*b$	$0,176*b^2$	-	-	0,30	0,29	0,03	25
AD33	A+B	0,07	$0,189*a*b$	$0,133*b^2$	-	-	0,31	0,30	0,02	25
CC10	A	0,49	$-0,375*a^2$	-	-	-	0,64	0,64	0,07	17
CC10	B	0,50	$-7,848*a^2*b^2$	$-0,496*a^2$	$0,132*\sqrt{a}$	-	0,77	0,76	0,05	11
CC33	A	0,46	$-0,368*a^2$	-	-	-	0,65	0,64	0,07	17
CC33	B	0,47	$-8,98*a^2*b^2$	$-0,527*a^2$	$0,162*\sqrt{a}$	-	0,77	0,76	0,05	11
PMP	A	0,17	$0,974*b*c$	$0,563*a*c$	$-0,139*a^2$	-	0,73	0,72	0,06	18
PMP	B	-0,60	$-0,564*c^2$	$1,46*\sqrt{c}$	$0,0773*1/\sqrt{c}$	-	0,83	0,82	0,04	12
AD10	A	0,07	$0,215*a*c$	$0,134*b$	-	-	0,28	0,26	0,03	24
AD10	B	0,11	$-0,042*c^2$	-	-	-	0,15	0,13	0,02	21
AD33	A	0,08	$0,114*b$	$-0,0048*1/\sqrt{a}$	-	-	0,31	0,28	0,03	26
AD33	B	0,07	$0,219*a*b$	-	-	-	0,16	0,15	0,02	22

⁽¹⁾ a: teor de areia (kg kg⁻¹); b: teor de silte (kg kg⁻¹); c: teor de argila (kg kg⁻¹). ⁽²⁾ R²: coeficiente de determinação; ⁽³⁾ R² ajust.: coeficiente de determinação ajustado; REMQ: raiz do erro quadrático médio e; CV: coeficiente de variação.

Tabela 70. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 2** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de ajuste horizontes, A+B/C														
CC10	A+B	151	0,06	14	0,00	0	0,69	0,90	0,83	0,75	bom	0,14**	0,69**	0,69
CC33	A+B	151	0,06	14	0,00	0	0,71	0,91	0,84	0,76	muito bom	0,13**	0,71**	0,71
PMP	A+B	151	0,06	16	0,00	0	0,74	0,92	0,86	0,79	muito bom	0,09**	0,74**	0,74
AD10	A+B	151	0,03	25	0,00	0	0,30	0,65	0,54	0,35	péssimo	0,08**	0,3**	0,30
AD33	A+B	151	0,02	25	0,00	0	0,31	0,66	0,56	0,37	péssimo	0,06**	0,31**	0,31
CC10	A	151	0,06	14	0,03	3	0,66	0,89	0,82	0,73	bom	0,15**	0,65**	0,68
CC10	B	151	0,07	15	0,00	0	0,65	0,90	0,81	0,73	bom	0,12**	0,73**	0,66
CC33	A	151	0,07	15	0,05	5	0,63	0,87	0,82	0,72	bom	0,14**	0,62**	0,67
CC33	B	151	0,07	16	-0,01	-1	0,64	0,90	0,81	0,73	bom	0,11**	0,75**	0,66
PMP	A	151	0,07	20	0,08	10	0,54	0,85	0,80	0,68	bom	0,11**	0,58**	0,64
PMP	B	151	0,06	18	-0,02	-3	0,69	0,92	0,84	0,77	muito bom	0,08**	0,8**	0,71
AD10	A	151	0,03	24	0,00	-12	0,03	0,59	0,53	0,32	péssimo	0,09**	0,28**	0,28
AD10	B	151	0,02	21	0,00	10	0,00	0,40	0,38	0,15	péssimo	0,08**	0,14**	0,14
AD33	A	151	0,02	25	-0,01	-7	0,24	0,67	0,54	0,36	péssimo	0,06**	0,33**	0,29
AD33	B	151	0,02	27	0,01	8	0,13	0,50	0,45	0,23	péssimo	0,07**	0,16**	0,20
Validação: banco de ajuste, horizontes A														
CC10	A+B	57	0,07	17	-0,01	-3	0,62	0,88	0,79	0,70	bom	0,16**	0,66**	0,63
CC33	A+B	57	0,07	17	-0,01	-3	0,63	0,89	0,81	0,72	bom	0,13**	0,7**	0,65
PMP	A+B	57	0,06	20	-0,02	-6	0,64	0,90	0,83	0,74	bom	0,09**	0,77**	0,68
AD10	A+B	57	0,03	25	0,01	8	0,17	0,61	0,51	0,31	péssimo	0,08**	0,29**	0,26
AD33	A+B	57	0,03	26	0,01	6	0,24	0,64	0,53	0,34	péssimo	0,06**	0,3**	0,28
CC10	A	57	0,07	17	0,00	0	0,64	0,88	0,80	0,71	bom	0,15**	0,64**	0,64
CC10	B	57	0,08	19	0,00	-1	0,51	0,86	0,74	0,64	mediano	0,14**	0,68**	0,55
CC33	A	57	0,07	17	0,00	0	0,65	0,88	0,80	0,71	bom	0,14**	0,65**	0,65
CC33	B	57	0,08	21	-0,01	-2	0,47	0,86	0,74	0,63	mediano	0,12**	0,72**	0,54
PMP	A	57	0,06	18	0,00	0	0,73	0,92	0,85	0,78	muito bom	0,08**	0,73**	0,73
PMP	B	57	0,07	24	-0,02	-8	0,44	0,86	0,76	0,65	mediano	0,09**	0,79*	0,58
AD10	A	57	0,03	24	0,00	0	0,28	0,64	0,53	0,34	péssimo	0,09**	0,28**	0,28
AD10	B	57	0,04	28	0,03	20	-0,44	0,42	0,23	0,10	péssimo	0,09**	0,05**	0,05
AD33	A	57	0,02	26	0,00	0	0,31	0,66	0,55	0,36	péssimo	0,07**	0,31**	0,31
AD33	B	57	0,03	28	0,02	15	-0,09	0,48	0,41	0,20	péssimo	0,07**	0,15**	0,17
Validação: banco de ajuste, horizontes B/C														
CC10	A+B	68	0,05	11	0,01	2	0,73	0,92	0,86	0,79	muito bom	0,12**	0,73**	0,74
CC33	A+B	68	0,05	12	0,01	2	0,74	0,92	0,87	0,80	muito bom	0,11**	0,73**	0,75
PMP	A+B	68	0,05	13	0,02	4	0,77	0,93	0,89	0,83	muito bom	0,08**	0,76**	0,79
AD10	A+B	68	0,02	21	-0,01	-8	-0,03	0,56	0,39	0,22	péssimo	0,08**	0,22**	0,15
AD33	A+B	68	0,02	22	0,00	-6	0,10	0,58	0,42	0,24	péssimo	0,06**	0,24**	0,18
CC10	A	68	0,05	12	0,03	6	0,64	0,88	0,85	0,75	bom	0,13**	0,67**	0,72
CC10	B	68	0,05	10	0,00	0	0,77	0,93	0,88	0,82	muito bom	0,11**	0,77**	0,77
CC33	A	68	0,06	13	0,04	8	0,58	0,86	0,84	0,73	bom	0,13**	0,64**	0,71
CC33	B	68	0,05	11	0,00	0	0,77	0,93	0,88	0,82	muito bom	0,11**	0,77**	0,77
PMP	A	68	0,06	17	0,06	16	0,29	0,79	0,80	0,64	mediano	0,11**	0,56**	0,65
PMP	B	68	0,04	12	0,01	0	0,83	0,95	0,91	0,87	ótimo	0,07**	0,83**	0,83
AD10	A	68	0,02	25	-0,02	-25	-1,34	0,49	0,24	0,12	péssimo	0,10**	0,17**	0,06
AD10	B	68	0,02	17	0,00	0	0,14	0,48	0,33	0,16	péssimo	0,08**	0,14**	0,11
AD33	A	68	0,02	23	-0,01	-13	-0,28	0,60	0,41	0,25	péssimo	0,06**	0,31**	0,17
AD33	B	68	0,02	22	0,00	0	0,16	0,50	0,40	0,20	péssimo	0,07**	0,16**	0,16

Continua...

Continuação...

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de validação, horizontes A+B/C														
CC10	A+B	140	0,06	12	0,00	2	0,48	0,80	0,70	0,56	sofrível	0,23**	0,49**	0,49
CC33	A+B	98	0,05	12	0,00	-1	0,65	0,89	0,81	0,72	bom	0,15**	0,67**	0,66
PMP	A+B	140	0,07	19	0,00	4	0,42	0,78	0,67	0,52	sofrível	0,18**	0,46**	0,45
AD10	A+B	140	0,03	28	0,00	-4	0,19	0,59	0,46	0,27	péssimo	0,10**	0,22**	0,21
AD33	A+B	88	0,02	23	0,00	5	0,38	0,72	0,65	0,47	mau	0,06**	0,35**	0,43
CC10	A	149	0,06	12	0,00	4	0,44	0,78	0,71	0,55	sofrível	0,24**	0,46**	0,50
CC10	B	149	0,07	15	0,01	5	0,19	0,77	0,61	0,47	mau	0,18**	0,58**	0,37
CC33	A	98	0,05	12	0,01	3	0,60	0,85	0,80	0,68	bom	0,18**	0,56**	0,63
CC33	B	98	0,06	14	0,01	1	0,50	0,86	0,75	0,65	mediano	0,11**	0,74**	0,56
PMP	A	140	0,09	24	0,01	8	-0,05	0,65	0,43	0,28	péssimo	0,21**	0,33**	0,18
PMP	B	140	0,08	22	0,00	6	0,15	0,75	0,57	0,43	mau	0,15**	0,52**	0,32
AD10	A	140	0,03	26	0,00	-14	-0,07	0,54	0,49	0,27	péssimo	0,10**	0,26**	0,24
AD10	B	140	0,04	32	0,01	13	-0,11	0,41	0,17	0,07	péssimo	0,10**	0,02**	0,03
AD33	A	88	0,02	23	0,00	-2	0,38	0,71	0,63	0,45	mau	0,07**	0,34**	0,40
AD33	B	88	0,02	25	0,01	16	-0,01	0,56	0,61	0,34	péssimo	0,06**	0,19**	0,38
Validação: banco de validação, horizontes A														
CC10	A+B	92	0,06	12	0,00	1	0,42	0,76	0,65	0,50	mau	0,26**	0,43**	0,42
CC33	A+B	71	0,05	11	-0,01	-2	0,55	0,86	0,76	0,65	mediano	0,16**	0,65**	0,58
PMP	A+B	83	0,06	18	0,00	-1	0,42	0,76	0,65	0,50	mau	0,20**	0,43**	0,42
AD10	A+B	83	0,03	25	0,00	5	0,10	0,54	0,38	0,21	péssimo	0,10**	0,18**	0,15
AD33	A+B	55	0,02	20	0,01	10	0,69	0,91	0,51	0,46	mau	0,07**	0,28**	0,26
CC10	A	92	0,06	12	0,00	2	0,40	0,74	0,65	0,48	mau	0,27**	0,4**	0,42
CC10	B	92	0,07	15	0,01	5	0,08	0,74	0,58	0,43	mau	0,17**	0,58**	0,34
CC33	A	71	0,05	11	0,01	2	0,53	0,81	0,74	0,60	sofrível	0,21**	0,49**	0,55
CC33	B	71	0,06	14	0,01	3	0,28	0,82	0,68	0,56	sofrível	0,1*	0,74**	0,46
PMP	A	83	0,08	23	-0,01	0	0,07	0,66	0,45	0,29	péssimo	0,22**	0,36**	0,20
PMP	B	83	0,08	23	0,00	1	0,06	0,73	0,53	0,39	péssimo	0,16**	0,52**	0,28
AD10	A	83	0,04	27	0,00	-4	-0,09	0,40	0,12	0,05	péssimo	0,13**	0,05**	0,01
AD10	B	83	0,03	25	0,03	22	-0,65	0,49	0,35	0,17	péssimo	0,10**	0,05**	0,12
AD33	A	61	0,02	20	0,00	2	0,24	0,63	0,50	0,31	péssimo	0,08**	0,25**	0,25
AD33	B	61	0,02	21	0,02	22	-0,65	0,55	0,52	0,29	péssimo	0,07**	0,18**	0,27
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A+B	57	0,06	12	0,02	4	0,54	0,84	0,76	0,64	mediano	0,2**	0,56**	0,58
CC33	A+B	27	0,06	14	0,00	0	0,74	0,92	0,86	0,79	muito bom	0,14**	0,69**	0,75
PMP	A+B	57	0,07	18	0,04	10	0,32	0,79	0,70	0,55	sofrível	0,14**	0,53**	0,49
AD10	A+B	57	0,03	26	-0,02	-21	-0,76	0,52	0,31	0,16	péssimo	0,09**	0,22**	0,10
AD33	A+B	27	0,02	25	-0,01	-9	0,01	0,54	0,37	0,20	péssimo	0,07**	0,18**	0,14
CC10	A	57	0,06	12	0,03	7	0,47	0,82	0,78	0,64	mediano	0,19**	0,54**	0,60
CC10	B	57	0,07	15	0,02	5	0,28	0,79	0,64	0,50	mau	0,19**	0,57**	0,41
CC33	A	27	0,06	14	0,03	7	0,67	0,89	0,87	0,77	muito bom	0,13**	0,64**	0,75
CC33	B	27	0,06	14	-0,01	-2	0,73	0,92	0,86	0,79	muito bom	0,13**	0,74**	0,74
PMP	A	57	0,07	17	0,07	18	-0,01	0,72	0,74	0,53	sofrível	0,14**	0,46**	0,55
PMP	B	57	0,08	19	0,04	9	0,25	0,79	0,66	0,52	sofrível	0,12**	0,59**	0,44
AD10	A	27	0,03	28	-0,03	-27	-1,57	0,43	0,08	0,04	péssimo	0,11**	0,06**	0,01
AD10	B	57	0,02	25	-0,01	-6	-0,02	0,43	0,21	0,09	péssimo	0,09**	0,07**	0,04
AD33	A	27	0,02	27	-0,01	-18	-0,50	0,50	0,27	0,14	péssimo	0,07**	0,17**	0,07
AD33	B	27	0,02	24	0,00	-4	0,15	0,51	0,43	0,22	péssimo	0,07**	0,16**	0,19

⁽¹⁾ Números entre parêntesis para os atributos do solo correspondem a sucção aplicada para a umidade do solo (CC e PMP) e a sucção no limite superior no conteúdo e água disponível (AD); ⁽²⁾ Horizonte utilizado como banco de dados para ajuste da função de pedotransferência. ⁽³⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro "a" da equação da reta não difere de zero. ⁽⁴⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro "b" da equação da reta não difere de 1.

4.4.1.3 Modelo 3: Granulometria e matéria orgânica do solo

Quando o teor de MO foi incluído como uma variável independente, ele foi inserido na maioria das FPTs geradas pelo modelo 3 para estimar a umidade do solo nas sucções de 10, 33 e 1.500 kPa, principalmente para os horizontes superficiais do solo. O teor de matéria orgânica é largamente utilizado na geração de FPTs, devido ao seu efeito positivo na retenção de água no solo (GUPTA e LARSON, 1979; RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON, 1982; BELL e VAN KEULEN, 1995; van den BERG *et al.*, 1997; SAXTON e RAWLS, 2006; REICHERT *et al.*, 2009).

Os coeficientes de determinação para a retenção ou disponibilidade de água geralmente aumentaram no modelo 3 em relação ao modelo 1, com diferenças entre zero a 0,30 (**Tabela 71**). Os maiores ganhos foram para as FPTs que estimam a disponibilidade de água e a capacidade de campo dos horizontes superficiais ou dos agrupados. Nas FPTs dos horizontes subsuperficiais, a MO melhorou pouco a predição da AD10, enquanto que nas demais variáveis predominou o efeito da granulometria. Quanto à raiz do erro quadrático médio (REQM), houve redução da REQM para as FPTs que predizem a retenção e disponibilidade de água dos horizontes superficiais quando as FPTs dos modelos 1 e 3 foram comparadas. Portanto, o efeito da MO se restringiu aos horizontes superficiais do solo. Maiores teores de areia, silte e MO aumentam a disponibilidade de água no solo, enquanto que maior teor de argila diminui a disponibilidade de água.

Os coeficientes de determinação obtidos no modelo 3 foi semelhante aos encontrados por RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON (1982) mas menores que os de BELL e van KEULEN (1995); MASSUTI (1997); van den BERG *et al.* (1997), os quais também utilizaram granulometria e matéria orgânica como variáveis preditoras.

No estudo 1 ficou evidente o efeito do teor de MO no aumento da retenção de água através da análise de trilha, sendo mais importante para a capacidade de campo do que para o ponto de murcha permanente. Essa mesma tendência foi observada por BOUYOUCOS (1939), comparando a adição de material orgânico decomposto misturado em diferentes classes de solos dos EUA; BISWAS e ALI (1969), comparando solos indianos de mesma classe textural e diferentes teores de MO; HUDSON (1994), utilizando a análise de regressão para diferentes classes de solos dos EUA e, por

RAWLS *et al.* (2003), utilizando árvores de regressão e também o método de aprendizagem indutiva (GMDH) em um grande banco de dados de solos dos EUA.

Esse maior efeito da MO sobre o aumento da CC, em relação ao aumento no PMP, resulta no aumento de disponibilidade de água para as plantas, observado principalmente nos horizontes superficiais. Outros autores, como EPEBINU e NWADIALO (1993), observaram que o conteúdo de água disponível foi correlacionado com os teores de argila, silte e, principalmente, pela matéria orgânica, em solos da Nigéria.

Na validação das FPTs dos horizontes agrupados, observou-se que, na média dos bancos 1 e 4, as umidades estimadas nas sucções de 10, 33 e 1.500 kPa diferiram das medidas (REMQ) em aproximadamente $|0,07| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram próximas da relação 1:1 ($0,50 \leq EF \leq 0,59$; $0,83 \leq d \leq 0,86$) e tiveram médias muito parecidas ($0 \% \leq PBIAS \leq 3\%$); o que resultou em um desempenho entre sofrível a bom dessas FPTs (**Tabela 72**). A capacidade preditiva das FPTs para a retenção de água dos horizontes agrupados foi semelhante para os horizontes superficiais e subsuperficiais. Para a disponibilidade de água, as AD estimadas diferiram das medidas em aproximadamente $|0,02| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram um pouco afastadas da relação 1:1 ($0,32 \leq EF \leq 0,43$; $0,69 \leq d \leq 0,76$) e tiveram médias parecidas ($-1 \% \leq PBIAS \leq 2 \%$), o que resultou em um desempenho entre péssimo a sofrível dessas FPTs. Esses indicadores foram apenas um pouco melhores do que aqueles do Modelo 1.

Em relação a literatura, van den BERG *et al.* (1997) obtiveram uma raiz do erro quadrático médio de $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a CC10, de $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o PMP e de $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a AD10 na validação de FPTs para Oxisols de regiões de clima tropical, ou seja, valores muito próximos ou inferiores aos obtidos para as FPTs do modelo 3.

Tabela 71. Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 3: Granulometria do solo e matéria orgânica (MO)**, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo (sucção)	Horizonte	intercepto	parâmetro 1	parâmetro 2	parâmetro 3	R ² (2)	R ² ajustado ⁽³⁾	REMQ ⁽⁴⁾ (cm ³ cm ⁻³)	CV ⁽⁵⁾ (%)
CC10	A+B	0,52	-0,329*a	0,00077*d	-	0,68	0,67	0,06	14
CC33	A+B	0,50	-0,334*a	0,00061*d	-	0,65	0,65	0,07	16
PMP	A+B	0,48	-0,385*a	-0,1368*b	-	0,69	0,68	0,06	18
AD10	A+B	0,10	-0,042*c	0,05162*b	0,00058*d	0,55	0,54	0,02	20
AD33	A+B	0,08	-0,033*c	0,04485*b	0,00043*d	0,52	0,51	0,02	21
CC10	A	0,44	-0,267*a	0,0014*d	-	0,80	0,79	0,05	13
CC10	B	0,56	-0,356*a	-	-	0,69	0,68	0,06	12
CC33	A	0,41	-0,266*a	0,0013*d	-	0,78	0,78	0,06	14
CC33	B	0,54	-0,362*a	-	-	0,68	0,67	0,06	13
PMP	A	0,35	-0,278*a	0,00082*d	-	0,77	0,76	0,05	17
PMP	B	0,34	-0,239*a	0,172*c	-	0,75	0,74	0,05	14
AD10	A	0,07	0,0307*a	0,0903*b	0,0005*d	0,53	0,51	0,03	20
AD10	B	0,11	-0,048*c	0,0009*d	-	0,23	0,21	0,02	20
AD33	A	0,08	-0,031*c	0,0491*b	0,00044*d	0,56	0,54	0,02	21
AD33	B	0,08	-0,0314*c	0,0538*b	-	0,19	0,17	0,02	22

⁽¹⁾ a: teor de areia (kg kg⁻¹); b: teor de silte (kg kg⁻¹); c: teor de argila (kg kg⁻¹); d: teor de matéria orgânica (g kg⁻¹). ⁽²⁾ R²: coeficiente de determinação; ⁽³⁾ R² ajust.: coeficiente de determinação ajustado; REMQ: raiz do erro quadrático médio e; CV: coeficiente de variação.

Tabela 72. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 3** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de ajuste horizontes, A+B/C														
CC10	A+B	151	0,06	14	0,00	0	0,68	0,90	0,82	0,74	bom	0,15**	0,68**	0,68
CC33	A+B	151	0,07	16	0,00	0	0,65	0,89	0,81	0,72	bom	0,15**	0,65**	0,65
PMP	A+B	151	0,06	18	0,00	0	0,69	0,90	0,83	0,75	bom	0,11**	0,69**	0,69
AD10	A+B	151	0,02	20	0,00	0	0,55	0,83	0,74	0,62	mediano	0,05**	0,55**	0,55
AD33	A+B	151	0,02	21	0,00	0	0,52	0,82	0,72	0,59	sofrível	0,04**	0,52**	0,52
CC10	A	151	0,07	15	0,09	9	0,50	0,85	0,80	0,68	bom	0,13**	0,63**	0,63
CC10	B	151	0,07	15	-0,02	-3	0,62	0,88	0,79	0,70	bom	0,17**	0,65**	0,63
CC33	A	151	0,07	17	0,10	10	0,45	0,83	0,78	0,64	mediano	0,13**	0,59**	0,60
CC33	B	151	0,07	16	-0,03	-4	0,61	0,87	0,79	0,69	bom	0,17**	0,65**	0,63
PMP	A	151	0,07	20	0,10	13	0,44	0,82	0,78	0,64	mediano	0,1**	0,57**	0,61
PMP	B	151	0,06	18	-0,03	-5	0,66	0,90	0,83	0,75	bom	0,11**	0,73**	0,69
AD10	A	151	0,02	20	-0,01	-3	0,53	0,82	0,74	0,60	sofrível	0,06**	0,5**	0,54
AD10	B	151	0,02	21	0,00	-1	0,49	0,84	0,72	0,61	sofrível	0,04**	0,65**	0,52
AD33	A	151	0,02	21	0,00	0	0,52	0,82	0,72	0,59	sofrível	0,04**	0,53**	0,52
AD33	B	151	0,02	26	0,01	6	0,22	0,54	0,54	0,29	péssimo	0,06**	0,2**	0,29
Validação: banco de ajuste, horizontes A														
CC10	A+B	57	0,06	14	-0,03	-6	0,69	0,91	0,86	0,79	muito bom	0,13**	0,76**	57
CC33	A+B	57	0,06	15	-0,03	-8	0,65	0,90	0,85	0,76	muito bom	0,13**	0,75**	57
PMP	A+B	57	0,06	21	-0,02	-8	0,58	0,88	0,80	0,71	bom	0,1**	0,74**	57
AD10	A+B	57	0,02	20	0,00	2	0,52	0,83	0,73	0,60	sofrível	0,05**	0,57**	57
AD33	A+B	57	0,02	20	0,00	0	0,56	0,84	0,75	0,63	mediano	0,04**	0,55**	57
CC10	A	57	0,05	12	0,00	0	0,80	0,94	0,89	0,84	muito bom	0,09**	0,8**	57
CC10	B	57	0,08	18	-0,03	-6	0,53	0,85	0,76	0,65	mediano	0,19**	0,63**	57
CC33	A	57	0,05	14	0,00	0	0,78	0,94	0,88	0,83	muito bom	0,09**	0,78**	57
CC33	B	57	0,08	19	-0,04	-9	0,49	0,84	0,77	0,65	mediano	0,17**	0,66**	57
PMP	A	57	0,05	17	0,00	0	0,77	0,93	0,88	0,81	muito bom	0,07**	0,77**	57
PMP	B	57	0,07	22	-0,04	-13	0,46	0,86	0,80	0,68	bom	0,11**	0,78**	57
AD10	A	57	0,02	19	0,00	0	0,53	0,83	0,73	0,60	sofrível	0,06**	0,53**	57
AD10	B	57	0,03	22	0,00	-1	0,41	0,83	0,70	0,58	sofrível	0,04**	0,69**	57
AD33	A	57	0,02	20	0,00	0	0,56	0,84	0,75	0,63	mediano	0,04**	0,56**	57
AD33	B	57	0,03	27	0,01	12	0,05	0,48	0,49	0,23	péssimo	0,07**	0,16**	
Validação: banco de ajuste, horizontes B/C														
CC10	A+B	68	0,06	12	0,02	5	0,63	0,88	0,83	0,73	bom	0,14**	0,66**	0,68
CC33	A+B	68	0,06	13	0,02	5	0,61	0,88	0,82	0,72	bom	0,14**	0,64**	0,67
PMP	A+B	68	0,05	14	0,02	5	0,71	0,91	0,86	0,78	muito bom	0,09**	0,71**	0,75
AD10	A+B	68	0,02	20	0,00	-2	0,23	0,60	0,48	0,29	péssimo	0,08**	0,23**	0,23
AD33	A+B	68	0,02	21	0,00	0	0,20	0,57	0,45	0,26	péssimo	0,06**	0,21**	0,20
CC10	A	68	0,06	13	0,06	15	0,13	0,77	0,82	0,63	mediano	0,14**	0,56**	0,67
CC10	B	68	0,06	12	0,00	0	0,69	0,90	0,83	0,75	bom	0,15**	0,69**	0,69
CC33	A	68	0,06	14	0,07	18	0,05	0,75	0,81	0,61	sofrível	0,13**	0,53**	0,65
CC33	B	68	0,06	13	0,00	0	0,68	0,90	0,82	0,74	bom	0,15**	0,68**	0,68
PMP	A	68	0,06	16	0,07	22	0,05	0,76	0,84	0,64	mediano	0,09**	0,56**	0,71
PMP	B	68	0,05	14	0,00	0	0,75	0,92	0,86	0,80	muito bom	0,1**	0,75**	0,75
AD10	A	68	0,02	20	-0,01	-7	0,11	0,56	0,45	0,26	péssimo	0,08**	0,2**	0,21
AD10	B	68	0,02	20	0,00	0	0,23	0,60	0,48	0,28	péssimo	0,08**	0,23**	0,23
AD33	A	68	0,02	21	0,00	1	0,20	0,56	0,45	0,25	péssimo	0,06**	0,21**	0,20
AD33	B	68	0,02	21	0,00	0	0,19	0,53	0,43	0,23	péssimo	0,06**	0,19**	0,19

Continua...

Continuação...														
Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de validação, horizontes A+B/C														
CC10	A+B	140	0,07	14	0,00	3	0,32	0,76	0,61	0,46	mau	0,24**	0,47**	0,37
CC33	A+B	98	0,06	14	0,00	0	0,53	0,84	0,73	0,61	mediano	0,18**	0,59**	0,53
PMP	A+B	140	0,07	19	0,00	6	0,33	0,75	0,63	0,47	mau	0,18**	0,43**	0,40
AD10	A+B	140	0,03	30	0,00	-3	0,09	0,55	0,35	0,19	péssimo	0,1**	0,18**	0,13
AD33	A+B	88	0,02	23	0,00	5	0,34	0,71	0,61	0,43	mau	0,06**	0,36**	0,37
CC10	A	149	0,07	15	0,02	11	-0,19	0,67	0,53	0,35	péssimo	0,22**	0,42**	0,28
CC10	B	149	0,06	13	0,00	2	0,41	0,78	0,65	0,51	mau	0,25**	0,46**	0,42
CC33	A	98	0,07	16	0,03	10	0,14	0,74	0,64	0,47	mau	0,17**	0,52**	0,41
CC33	B	98	0,06	13	-0,01	-3	0,57	0,85	0,77	0,65	mediano	0,19**	0,59**	0,59
PMP	A	140	0,08	21	0,02	15	-0,06	0,65	0,54	0,35	péssimo	0,19**	0,33**	0,29
PMP	B	140	0,07	20	-0,01	2	0,34	0,75	0,60	0,45	mau	0,2**	0,43**	0,36
AD10	A	140	0,03	29	0,00	-5	0,10	0,54	0,37	0,20	péssimo	0,1**	0,18**	0,14
AD10	B	140	0,04	32	0,00	-3	-0,07	0,53	0,27	0,14	péssimo	0,1**	0,17**	0,07
AD33	A	88	0,02	24	0,00	5	0,34	0,71	0,60	0,43	mau	0,06**	0,36**	0,36
AD33	B	88	0,02	24	0,01	13	0,13	0,58	0,65	0,38	péssimo	0,06**	0,22**	0,43
Validação: banco de validação, horizontes A														
CC10	A+B	92	0,06	13	0,00	0	0,31	0,75	0,60	0,45	mau	0,25**	0,48**	0,36
CC33	A+B	71	0,06	13	-0,01	-2	0,42	0,81	0,68	0,55	sofrível	0,19**	0,58**	0,46
PMP	A+B	83	0,06	19	0,00	1	0,37	0,75	0,61	0,46	mau	0,19**	0,42**	0,38
AD10	A+B	83	0,04	27	0,00	1	-0,02	0,41	0,19	0,08	péssimo	0,12**	0,08**	0,04
AD33	A+B	61	0,03	24	0,01	5	-0,06	0,47	0,21	0,10	péssimo	0,09**	0,1**	0,05
CC10	A	92	0,07	14	0,02	6	0,10	0,71	0,57	0,41	péssimo	0,21**	0,5**	0,33
CC10	B	92	0,06	13	0,00	0	0,32	0,73	0,58	0,43	mau	0,28**	0,41**	0,34
CC33	A	71	0,06	14	0,02	6	0,25	0,78	0,66	0,51	mau	0,15**	0,61**	0,43
CC33	B	71	0,06	13	-0,01	-3	0,39	0,79	0,67	0,53	sofrível	0,22**	0,52**	0,44
PMP	A	83	0,06	18	0,01	5	0,35	0,73	0,63	0,46	mau	0,18**	0,41**	0,40
PMP	B	83	0,07	19	-0,01	-3	0,30	0,72	0,58	0,42	mau	0,21**	0,41**	0,33
AD10	A	83	0,04	27	0,00	-1	-0,03	0,38	0,17	0,06	péssimo	0,13**	0,07**	0,03
AD10	B	83	0,04	29	0,00	-1	-0,20	0,39	0,08	0,03	péssimo	0,13**	0,04**	0,01
AD33	A	61	0,03	24	0,01	5	-0,07	0,47	0,21	0,10	péssimo	0,09**	0,1**	0,05
AD33	B	61	0,02	21	0,02	18	-0,35	0,56	0,55	0,31	péssimo	0,07**	0,16**	0,31
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A+B	57	0,06	13	0,04	8	0,36	0,79	0,73	0,58	sofrível	0,2**	0,5**	0,54
CC33	A+B	27	0,06	14	0,02	4	0,70	0,90	0,86	0,77	muito bom	0,15**	0,63**	0,74
PMP	A+B	57	0,07	18	0,05	13	0,18	0,75	0,69	0,52	sofrível	0,14**	0,5**	0,47
AD10	A+B	57	0,02	26	-0,01	-12	-0,23	0,51	0,25	0,13	péssimo	0,09**	0,13**	0,06
AD33	A+B	27	0,02	26	0,00	-2	0,04	0,47	0,26	0,12	péssimo	0,07**	0,1**	0,07
CC10	A	57	0,07	13	0,09	18	-0,37	0,66	0,72	0,48	mau	0,19**	0,43**	0,52
CC10	B	57	0,06	13	0,02	4	0,50	0,82	0,73	0,61	sofrível	0,21**	0,53**	0,54
CC33	A	27	0,07	16	0,08	17	0,24	0,77	0,84	0,65	mediano	0,14**	0,52**	0,71
CC33	B	27	0,06	14	-0,01	-1	0,74	0,91	0,87	0,80	muito bom	0,15**	0,67**	0,76
PMP	A	57	0,07	17	0,10	26	-0,64	0,63	0,73	0,46	mau	0,13**	0,41**	0,54
PMP	B	57	0,07	18	0,03	9	0,32	0,79	0,67	0,53	sofrível	0,15**	0,53**	0,46
AD10	A	57	0,02	26	-0,02	-16	-0,40	0,49	0,24	0,12	péssimo	0,1**	0,12**	0,06
AD10	B	57	0,02	26	-0,01	-8	-0,14	0,48	0,21	0,10	péssimo	0,09**	0,1**	0,04
AD33	A	27	0,02	26	0,00	-1	0,05	0,46	0,26	0,12	péssimo	0,07**	0,1**	0,07
AD33	B	27	0,02	26	0,00	-3	0,04	0,49	0,27	0,14	péssimo	0,07**	0,11**	0,08

⁽¹⁾ Números entre parêntesis para os atributos do solo correspondem a sucção aplicada para a umidade do solo (CC e PMP) e a sucção no limite superior no conteúdo e água disponível (AD); ⁽²⁾ Horizonte utilizado como banco de dados para ajuste da função de pedotransferência. ⁽³⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro “a” da equação da reta não difere de zero. ⁽⁴⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro “b” da equação da reta não difere de 1.

Mesmo sendo de mais difícil predição, o uso do teor de matéria orgânica junto com a granulometria do solo melhorou a capacidade de predição das FPTs para a disponibilidade de água, em relação às FPTs que utilizam somente a granulometria (modelos 1 e 2), principalmente nos horizontes superficiais do solo. Contudo, o erro na estimativa na disponibilidade de água permaneceu elevado.

4.4.1.4 Modelo 4: Granulometria do solo, matéria orgânica e suas interações

O efeito das granulometria e da matéria orgânica, em escala original, transformada ou pelo seu efeito multiplicativo como possíveis variáveis preditoras indicou que o efeito desses atributos sobre a retenção ou disponibilidade de água não ocorrem de forma linear, pois as variáveis independentes selecionadas pelo programa estatístico foram aquelas transformadas ou multiplicadas entre si para todas as 15 FPTs.

Os coeficientes de determinação indicaram que a capacidade preditiva das FPTs para a retenção e disponibilidade de água aumentaram em comparação aos observados no modelo 3, com diferenças entre 0,01 a 0,16 (**Tabela 73**). Os maiores ganhos foram para as FPTs que estimam a retenção de água dos horizontes agrupados ou dos subsuperficiais. Em relação à disponibilidade de água, foram observados aumentos desse coeficiente apenas nas FPTs geradas com os horizontes separados. Quanto à raiz do erro médio ao quadrado, houve uma redução de até $0,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nas FPTs para retenção de água dos horizontes agrupados ou subsuperficiais, o que indica bom avanço na capacidade preditiva das FPTs do modelo 4. Essas melhorias resultaram em igualdade na capacidade preditiva das FPTs para a retenção de água nos horizontes superficiais e subsuperficiais, as quais foram um pouco melhores do que aquela dos horizontes agrupados, o que difere das FPTs dos modelos 1, 2 e 3.

Em relação à literatura, SAXTON e RAWLS (2006) também utilizaram a granulometria e a MO, utilizando variáveis preditoras não lineares, para a geração de FPTs para solos dos EUA. Os coeficientes de determinação foram um pouco maiores do que os obtidos neste estudo para a capacidade de campo (33 kPa) e bastante próximos para aquelas do PMP.

Na validação das FPTs dos horizontes agrupados, observou-se que, na média dos bancos 1 e 4, as umidades estimadas nas sucções de 10, 33 e 1.500 kPa diferiram das medidas (REMQ) em aproximadamente $|0,06| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram próximas da

relação 1:1 ($0,58 \leq EF \leq 0,72$; $0,84 \leq d \leq 0,92$) e tiveram médias muito parecidas ($1 \% \leq PBIAS \leq 3\%$); o que resultou em um desempenho entre mediano a muito bom dessas FPTs (**Tabela 74**). Para a disponibilidade de água, as AD estimadas diferiram das medidas em aproximadamente $|0,02| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram um pouco afastadas da relação 1:1 ($0,33 \leq EF \leq 0,44$; $0,71 \leq d \leq 0,77$) e tiveram médias parecidas ($-2 \% \leq PBIAS \leq 3 \%$); o que resultou em um desempenho entre mau a sofrível dessas FPTs. Esses indicadores foram apenas um pouco melhores do que aqueles do Modelo 3 e, não foram observadas alterações quanto aos resultados das demais comparações realizadas no Modelo 1. A predição das FPTs para a retenção de água dos horizontes agrupados foi pior para a umidade dos horizontes superficiais.

O uso do teor de MO junto com a granulometria do solo em escala original, transformada ou pelo seu efeito multiplicativo melhorou a capacidade de predição das FPTs para a retenção de água, em relação aos demais modelos (1, 2 e 3), principalmente nos horizontes subsuperficiais do solo. No entanto, o ganho na capacidade preditiva das FPTs para estimativa da disponibilidade de água foi pequeno e o erro na sua predição permaneceu elevado.

Tabela 73. Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 4: Granulometria do solo e matéria orgânica suas interações**, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo (sucção)	Horizonte	Intercepto	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	Parâmetro 4	Parâmetro 5	R ² (2)	R ² ajustado (3)	REMQ (4) (cm ³ cm ⁻³)	CV (5) (%)
CC10	A+B	0,55	$0,000005*d^2$	$-0,003*b*d$	$0,00314*a*d$	$-6,408*a^2*b^2$	$-0,459*a^2$	0,81	0,81	0,05	11
CC33	A+B	0,54	$0,00001*d^2$	$-0,00308*b*d$	$0,00309*a*d$	$-7,043*a^2*b^2$	$-0,472*a^2$	0,81	0,80	0,05	12
PMP	A+B	-0,09	$0,0033*d$	$-0,0087*b*d$	$1,785*b^2*c^2$	$0,632*\sqrt{c}$	-	0,83	0,83	0,05	13
AD10	A+B	0,08	$0,00555*\sqrt{d}$	$0,00068*b*d$	$0,155*a*b$	$-0,023*c$	-	0,56	0,55	0,02	20
AD33	A+B	0,07	$0,0011*b*d$	$0,195*a*b$	-	-	-	0,53	0,52	0,02	21
CC10	A	0,41	$0,00464*a*d$	$2,765*b^2*c^2$	$-2,545*a^2*b^2$	$-0,334*a^2$	$-0,00132*1/a$	0,87	0,86	0,04	10
CC10	B	0,38	$0,00061*1000/\sqrt{d}$	$0,025*a*d$	$-9,883*a^2*b^2$	$-0,325*a$	$-0,337*a^2$	0,84	0,83	0,04	9
CC33	A	0,47	$0,00451*a*d$	$4,339*b^2*c^2$	$-0,224*\sqrt{b}$	$-0,384*a^2$	$-0,00201*1/a$	0,87	0,86	0,04	11
CC33	B	0,38	$0,00046*1000/\sqrt{d}$	$0,019*a*d$	$-12,693*a^2*b^2$	$-0,603*a^2$	-	0,83	0,82	0,04	10
PMP	A	0,36	$0,00316*a*d$	$-4,405*a^2*b^2$	$-0,368*a^2$	-	-	0,83	0,82	0,05	15
PMP	B	-0,60	$-0,564*c^2$	$1,46*\sqrt{c}$	$0,077*1/\sqrt{c}$	-	-	0,83	0,82	0,04	12
AD10	A	0,10	$0,00128*b*d$	$0,179*a*b$	-	-	-	0,55	0,54	0,02	19
AD10	B	0,08	$0,00325*a*d$	$0,133*b^2$	-	-	-	0,26	0,25	0,02	19
AD33	A	0,05	$0,00114*b*d$	$0,703*a*c$	$-3,274*a^2*c^2$	-	-	0,60	0,59	0,02	20
AD33	B	0,08	$0,00234*b*d$	$-0,01459*\ln(1/\sqrt{a})$	-	-	-	0,25	0,23	0,02	21

(1) a: teor de areia (kg kg⁻¹); b: teor de silte (kg kg⁻¹); c: teor de argila (kg kg⁻¹); d: teor de matéria orgânica (g kg⁻¹).

(2) R²: coeficiente de determinação; (3) R² ajust.: coeficiente de determinação ajustado; REMQ: raiz do erro quadrático médio e; CV: coeficiente de variação.

Tabela 74. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 4** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de ajuste horizontes, A+B/C														
CC10	A+B	151	0,05	11	0,00	0	0,81	0,95	0,90	0,85	muito bom	0,08**	0,81**	0,81
CC33	A+B	151	0,05	12	0,00	0	0,81	0,95	0,90	0,85	muito bom	0,08**	0,81**	0,81
PMP	A+B	151	0,05	13	0,00	0	0,83	0,95	0,91	0,87	ótimo	0,06**	0,83**	0,83
AD10	A+B	151	0,02	19	0,00	0	0,56	0,84	0,75	0,63	mediano	0,05**	0,56**	0,56
AD33	A+B	151	0,02	21	0,00	0	0,53	0,83	0,73	0,60	sofrível	0,04**	0,53**	0,53
CC10	A	151	0,06	13	0,08	7	0,61	0,89	0,84	0,75	bom	0,09**	0,74**	0,71
CC10	B	151	0,16	35	-0,08	-10	-1,20	0,68	0,63	0,43	mau	-0,02	1,14	0,39
CC33	A	151	0,06	15	0,08	9	0,57	0,88	0,83	0,72	bom	0,09**	0,72**	0,68
CC33	B	151	0,12	27	-0,06	-8	-0,16	0,79	0,71	0,55	sofrível	0,02	1,03	0,50
PMP	A	151	0,06	16	0,08	10	0,64	0,88	0,86	0,76	muito bom	0,08**	0,68**	0,75
PMP	B	151	0,06	18	-0,02	-3	0,69	0,92	0,84	0,77	muito bom	0,08**	0,8**	0,71
AD10	A	151	0,02	20	-0,01	-5	0,49	0,80	0,73	0,58	sofrível	0,06**	0,47**	0,54
AD10	B	151	0,03	25	0,00	1	0,27	0,80	0,65	0,52	sofrível	0,03**	0,69**	0,43
AD33	A	151	0,02	21	-0,01	-4	0,52	0,82	0,73	0,60	sofrível	0,04**	0,52**	0,53
AD33	B	151	0,02	27	-0,01	-5	0,16	0,82	0,71	0,58	sofrível	0,01	0,9	0,50
Validação: banco de ajuste, horizontes A														
CC10	A+B	57	0,05	11	-0,01	-2	0,83	0,95	0,91	0,87	ótimo	0,08**	0,84**	0,84
CC33	A+B	57	0,05	12	-0,01	-2	0,82	0,95	0,91	0,86	ótimo	0,07**	0,84**	0,83
PMP	A+B	57	0,04	14	-0,01	-4	0,81	0,95	0,91	0,86	ótimo	0,06**	0,84**	0,83
AD10	A+B	57	0,02	19	0,00	1	0,55	0,84	0,74	0,62	mediano	0,05**	0,58**	0,55
AD33	A+B	57	0,02	20	0,00	1	0,57	0,86	0,76	0,65	mediano	0,04**	0,61**	0,58
CC10	A	57	0,04	10	0,00	0	0,87	0,96	0,93	0,90	ótimo	0,06**	0,87**	0,87
CC10	B	57	0,23	52	-0,10	-23	-3,21	0,61	0,67	0,41	péssimo	-0,16	1,59**	0,44
CC33	A	57	0,04	11	0,00	0	0,87	0,96	0,93	0,90	ótimo	0,05**	0,87**	0,87
CC33	B	57	0,16	40	-0,07	-18	-1,28	0,72	0,73	0,52	sofrível	-0,08	1,4*	0,53
PMP	A	57	0,04	14	0,00	0	0,83	0,95	0,91	0,86	ótimo	0,05**	0,83**	0,83
PMP	B	57	0,07	24	-0,02	-8	0,44	0,86	0,76	0,65	mediano	0,09**	0,79*	0,58
AD10	A	57	0,02	19	0,00	0	0,55	0,83	0,74	0,62	mediano	0,06**	0,55**	0,55
AD10	B	57	0,04	29	0,00	1	-0,01	0,77	0,62	0,48	mau	0,03	0,78	0,39
AD33	A	57	0,02	19	0,00	0	0,60	0,86	0,78	0,67	bom	0,04**	0,6**	0,60
AD33	B	57	0,03	30	-0,01	-10	-0,07	0,80	0,74	0,59	sofrível	0	1,07	0,54
Validação: banco de ajuste, horizontes B/C														
CC10	A+B	68	0,05	10	0,01	1	0,78	0,94	0,89	0,83	muito bom	0,09**	0,79**	0,78
CC33	A+B	68	0,05	11	0,01	2	0,78	0,93	0,88	0,83	muito bom	0,09**	0,79**	0,78
PMP	A+B	68	0,05	12	0,01	2	0,81	0,95	0,90	0,86	muito bom	0,05**	0,85**	0,82
AD10	A+B	68	0,02	20	0,00	-1	0,23	0,60	0,48	0,29	péssimo	0,08**	0,23**	0,23
AD33	A+B	68	0,02	21	0,00	-1	0,20	0,55	0,46	0,25	péssimo	0,06**	0,19**	0,21
CC10	A	68	0,06	12	0,06	13	0,30	0,82	0,82	0,67	bom	0,09**	0,69**	0,67
CC10	B	68	0,04	9	0,00	0	0,84	0,96	0,92	0,88	ótimo	0,07**	0,84**	0,84
CC33	A	68	0,06	14	0,06	15	0,22	0,80	0,80	0,64	mediano	0,08**	0,68**	0,65
CC33	B	68	0,04	10	0,00	0	0,83	0,95	0,91	0,87	ótimo	0,08**	0,83**	0,83
PMP	A	68	0,05	13	0,06	17	0,41	0,84	0,90	0,75	bom	0,06**	0,67**	0,80
PMP	B	68	0,04	12	0,01	0	0,83	0,95	0,91	0,87	ótimo	0,07**	0,83**	0,83
AD10	A	68	0,02	20	-0,01	-11	-0,07	0,53	0,46	0,24	péssimo	0,09**	0,16**	0,21
AD10	B	68	0,02	19	0,00	0	0,26	0,63	0,51	0,32	péssimo	0,07**	0,26**	0,26
AD33	A	68	0,02	21	0,00	-7	0,09	0,61	0,44	0,27	péssimo	0,06**	0,24**	0,19
AD33	B	68	0,02	21	0,00	0	0,25	0,62	0,50	0,31	péssimo	0,06**	0,25**	0,25

Continua...

Continuação ...

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de validação, horizontes A+B/C														
CC10	A+B	140	0,06	13	0,01	4	0,35	0,80	0,67	0,54	sofrível	0,18**	0,58**	0,45
CC33	A+B	98	0,05	12	0,01	2	0,63	0,89	0,81	0,72	bom	0,11**	0,73**	0,65
PMP	A+B	140	0,08	22	0,00	7	0,15	0,73	0,54	0,39	péssimo	0,18**	0,43**	0,29
AD10	A+B	140	0,03	29	0,00	-4	0,09	0,58	0,38	0,22	péssimo	0,1**	0,21**	0,14
AD33	A+B	88	0,02	23	0,00	5	0,35	0,72	0,62	0,44	mau	0,06**	0,36**	0,38
CC10	A	149	0,08	16	0,02	6	-0,02	0,72	0,54	0,39	péssimo	0,2**	0,53**	0,30
CC10	B	149	0,16	33	-0,01	19	-3,86	0,52	0,43	0,22	péssimo	0,18**	0,7**	0,19
CC33	A	98	0,08	18	0,03	7	0,12	0,77	0,63	0,49	mau	0,12**	0,65**	0,40
CC33	B	98	0,12	28	-0,01	18	-1,82	0,64	0,61	0,39	péssimo	0,06	0,91	0,37
PMP	A	140	0,07	19	0,01	12	0,17	0,72	0,63	0,45	mau	0,16**	0,43**	0,39
PMP	B	140	0,08	22	0,00	6	0,15	0,75	0,57	0,43	mau	0,15**	0,52**	0,32
AD10	A	140	0,03	28	0,00	-7	0,12	0,54	0,41	0,22	péssimo	0,1**	0,18**	0,17
AD10	B	140	0,04	30	0,00	-3	0,08	0,60	0,39	0,23	péssimo	0,09**	0,25**	0,15
AD33	A	88	0,03	26	0,00	2	0,25	0,64	0,50	0,32	péssimo	0,07**	0,28**	0,25
AD33	B	88	0,03	30	0,00	-3	-0,05	0,68	0,48	0,33	péssimo	0,05**	0,47**	0,23
Validação: banco de validação, horizontes A														
CC10	A+B	92	0,06	12	0,01	4	0,37	0,79	0,67	0,53	sofrível	0,19**	0,57**	0,45
CC33	A+B	71	0,05	12	0,01	3	0,51	0,85	0,75	0,63	mediano	0,13**	0,68**	0,56
PMP	A+B	83	0,07	20	0,00	3	0,27	0,69	0,54	0,38	péssimo	0,21**	0,35**	0,29
AD10	A+B	83	0,04	26	0,00	-1	0,00	0,44	0,23	0,10	péssimo	0,12**	0,1**	0,05
AD33	A+B	61	0,03	24	0,01	6	-0,07	0,53	0,28	0,15	péssimo	0,09**	0,16**	0,08
CC10	A	92	0,07	15	0,01	2	0,08	0,73	0,55	0,40	péssimo	0,2**	0,56**	0,31
CC10	B	92	0,15	33	-0,04	7	-3,35	0,56	0,51	0,28	péssimo	0,1	0,95	0,26
CC33	A	71	0,07	16	0,01	3	0,03	0,76	0,61	0,46	mau	0,11*	0,71*	0,37
CC33	B	71	0,12	29	-0,04	10	-2,19	0,65	0,65	0,42	mau	-0,03	1,17	0,43
PMP	A	83	0,06	16	0,01	3	0,49	0,80	0,71	0,57	sofrível	0,16**	0,49**	0,51
PMP	B	83	0,08	23	0,00	1	0,06	0,73	0,53	0,39	péssimo	0,16**	0,52**	0,28
AD10	A	83	0,04	27	0,00	-1	-0,01	0,41	0,21	0,09	péssimo	0,12**	0,09**	0,04
AD10	B	83	0,04	27	0,00	0	-0,06	0,54	0,28	0,15	péssimo	0,11**	0,18**	0,08
AD33	A	61	0,03	25	0,01	5	-0,19	0,43	0,15	0,07	péssimo	0,09**	0,09**	0,02
AD33	B	61	0,03	32	-0,01	-6	-0,88	0,40	0,06	0,03	péssimo	0,11**	0,06**	0,00
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A+B	57	0,07	14	0,03	5	0,39	0,82	0,70	0,57	sofrível	0,16**	0,61**	0,49
CC33	A+B	27	0,06	12	0,00	0	0,79	0,94	0,89	0,83	muito bom	0,09*	0,79*	0,79
PMP	A+B	57	0,07	17	0,04	11	0,28	0,80	0,72	0,58	sofrível	0,1**	0,64**	0,52
AD10	A+B	57	0,02	26	-0,01	-12	-0,26	0,52	0,26	0,14	péssimo	0,09**	0,15**	0,07
AD33	A+B	27	0,02	24	0,00	-5	0,13	0,49	0,41	0,20	péssimo	0,07**	0,15**	0,17
CC10	A	57	0,06	13	0,06	13	0,02	0,75	0,72	0,54	sofrível	0,15**	0,57**	0,52
CC10	B	57	0,10	21	0,02	35	-3,61	0,54	0,61	0,33	péssimo	0,18**	0,58**	0,37
CC33	A	27	0,06	15	0,06	14	0,43	0,84	0,84	0,71	bom	0,08	0,68**	0,71
CC33	B	27	0,08	19	-0,01	27	-0,56	0,75	0,81	0,61	sofrível	0,1*	0,8*	0,66
PMP	A	57	0,07	17	0,08	22	-0,26	0,70	0,72	0,51	mau	0,11**	0,51**	0,52
PMP	B	57	0,08	19	0,04	9	0,25	0,79	0,66	0,52	sofrível	0,12**	0,59**	0,44
AD10	A	57	0,02	25	-0,02	-21	-0,58	0,51	0,31	0,16	péssimo	0,1**	0,13**	0,10
AD10	B	57	0,03	27	-0,01	-11	-0,34	0,47	0,17	0,08	péssimo	0,1**	0,1**	0,03
AD33	A	27	0,02	26	-0,01	-13	-0,22	0,47	0,24	0,11	péssimo	0,08**	0,1**	0,06
AD33	B	27	0,02	27	0,00	-3	0,00	0,42	0,22	0,09	péssimo	0,07**	0,09**	0,05

⁽¹⁾ Números entre parêntesis para os atributos do solo correspondem a sucção aplicada para a umidade do solo (CC e PMP) e a sucção no limite superior no conteúdo e água disponível (AD); ⁽²⁾ Horizonte utilizado como banco de dados para ajuste da função de pedotransferência. ⁽³⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro "a" da equação da reta não difere de zero. ⁽⁴⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro "b" da equação da reta não difere de 1.

4.4.1.5 Modelo 5: Granulometria do solo, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total

A inclusão da densidade do solo, densidade de partículas do solo e da porosidade total (estimada) em adição a granulometria e MO para estimar a retenção e disponibilidade de água, indicou que todas as variáveis disponíveis foram selecionadas em ao menos duas das 15 FPTs geradas no modelo 5. A MO foi uma das variáveis que constituiu todas as FPTs dos horizontes superficiais e quase todas as dos horizontes agrupados. A presença da densidade do solo em algumas FPTs indicou que esse atributo se relaciona negativamente com a umidade do solo na CC10, o que também foi observado por GUPTA e LARSON (1979) em solos dos EUA e por REICHERT *et al.* (2009) em solos do Rio Grande do Sul. As FPTs também indicaram que o aumento da areia, silte, matéria orgânica e porosidade total elevam a disponibilidade de água no solo, enquanto que a argila, a densidade do solo e de partículas possui em efeito inverso.

Os coeficientes de determinação para a retenção ou disponibilidade de água geralmente aumentaram no modelo 5 em relação ao modelo 3, com diferenças entre zero a 0,11 (**Tabela 75**). Os maiores ganhos foram nas FPTs que estimam a disponibilidade de água dos horizontes subsuperficiais. Quanto à raiz do erro quadrático médio (REQM), essa permaneceu constante entre as FPTs dos modelos 3 e 5. Em relação as FPTs do modelo 4, os coeficientes de determinações foram menores em quase todas as FPTs do modelo 5, exceto para AD10 dos horizontes agrupados ou subsuperficiais. Essa indiferença demonstra que a inclusão de mais variáveis preditoras não melhorou a predição da retenção e disponibilidade de água em comparação à utilização de FPTs que utilizam transformações dos dados originais (não lineares) e menos variáveis independentes. Em relação aos horizontes, os maiores coeficientes de determinação ocorreram nas FPTs dos horizontes superficiais do solo, com maiores diferenças na estimativa da disponibilidade de água.

Na validação das FPTs dos horizontes agrupados, observou-se que, na média dos bancos 1 e 4, as umidades estimadas nas sucções de 10, 33 e 1.500 kPa diferiram das medidas (REQM) em aproximadamente $|0,06| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram próximas da relação 1:1 ($0,48 \leq EF \leq 0,54$; $0,82 \leq d \leq 0,88$) e tiveram médias muito parecidas ($1 \% \leq PBIAS \leq 2\%$) e um desempenho entre sofrível a bom (**Tabela 76**). A predição das FPTs para a retenção de água dos horizontes agrupados foi semelhante para a umidade dos

horizontes superficiais e subsuperficiais. Para a disponibilidade de água, as AD estimadas diferiram das medidas em aproximadamente $|0,02| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram um pouco afastadas da relação 1:1 ($0,43 \leq EF \leq 0,46$; $0,77 \leq d \leq 0,76$), tiveram médias parecidas ($0 \% \leq PBIAS \leq 2 \%$) e tiveram um desempenho sofrível. Esses indicadores foram apenas um pouco melhores do que aqueles do Modelo 3 somente para a disponibilidade de água.

REICHERT *et al.* (2009) obtiveram uma raiz do erro quadrático médio de $0,05 \text{ g g}^{-1}$ para a CC10 e de $0,04 \text{ g g}^{-1}$ para o CC10 e PMP na validação de FPTs para solos do Estado do Rio Grande do Sul, ou seja, valores um pouco menores do que obtidos para as FPTs do modelo 5 de solos catarinenses, embora estejam em escalas diferentes. Como a REQM pode ser relacionada com a média das observações, quando a raiz do erro médio quadrático relativa (RREQM) foi calculada, observou-se que esse indicador estatístico foi menor para as FPTs dos solos de Santa Catarina, em cerca de 5 pontos percentuais, o que indica melhor capacidade preditiva das FPTs geradas para SC.

Embora a disponibilidade de água teve baixa capacidade preditiva nas FPTs, a utilização da porosidade total, densidade do solo e de partículas, com a granulometria e MO do solo melhora a estimativa da disponibilidade de água dos horizontes subsuperficiais, em relação às FPTs que utilizam somente a granulometria e o teor de matéria orgânica (modelo 3).

Tabela 75. Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 5: Granulometria do solo, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total**, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo (sucção)	Horizonte	Intercepto	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	Parâmetro 4	Parâmetro 5	R ² ⁽²⁾	R ² ajustado ⁽³⁾	REMQ ⁽⁴⁾ (cm ³ cm ⁻³)	CV ⁽⁵⁾ (%)
CC10	A+B	0,79	-0,37*a	0,0895*e	-0,1477*f	0,00069*d	-	0,71	0,71	0,06	13
CC33	A+B	0,96	-0,346*a	-0,179*f	-	-	-	0,68	0,68	0,06	15
PMP	A+B	1,03	-0,45*a	-0,173*b	-0,129*f	-0,401*g	0,00049*d	0,74	0,73	0,06	17
AD10	A+B	0,19	-0,064*c	0,033*b	-0,055*e	0,0004*d	-	0,59	0,58	0,02	19
AD33	A+B	0,08	-0,033*c	0,045*b	0,00043*d	-	-	0,52	0,51	0,02	21
CC10	A	0,44	-0,267*a	0,0014*d	-	-	-	0,80	0,79	0,05	13
CC10	B	0,90	-0,354*a	-0,14*f	-	-	-	0,72	0,71	0,06	12
CC33	A	0,61	-0,315*a	-0,334*g	0,0017*d	-	-	0,80	0,79	0,05	13
CC33	B	0,89	-0,36*a	-0,142*f	-	-	-	0,71	0,70	0,06	13
PMP	A	0,54	-0,327*a	-0,338*g	0,0012*d	-	-	0,79	0,78	0,05	16
PMP	B	0,63	-0,244*a	0,164*c	-0,114*f	-	-	0,76	0,76	0,05	14
AD10	A	0,07	0,031*a	0,09*b	0,00052*d	-	-	0,53	0,51	0,03	20
AD10	B	0,02	-0,08*c	0,2257*g	-	-	-	0,34	0,32	0,02	18
AD33	A	0,08	-0,031*c	0,049*b	0,00044*d	-	-	0,56	0,54	0,02	21
AD33	B	0,18	-0,046*c	0,0425*b	-0,0283*e	-0,023*f	-	0,25	0,21	0,02	21

⁽¹⁾ a: teor de areia (kg kg⁻¹); b: teor de silte (kg kg⁻¹); c: teor de argila (kg kg⁻¹); d: teor de matéria orgânica (g kg⁻¹); e: densidade do solo (g cm⁻³); f: densidade do partículas (g cm⁻³); g: porosidade total (cm³ cm⁻³); obtida pela equação: $g = 1 - (e/2,65)$.

⁽²⁾ R²: coeficiente de determinação; ⁽³⁾ R² ajust.: coeficiente de determinação ajustado; REMQ: raiz do erro quadrático médio e; CV: coeficiente de variação.

Tabela 76. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 5** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de ajuste horizontes, A+B/C														
CC10	A+B	151	0,06	13	0,00	0	0,71	0,91	0,85	0,77	muito bom	0,13**	0,71**	0,71
CC33	A+B	151	0,06	15	0,00	0	0,68	0,90	0,83	0,74	bom	0,14**	0,68**	0,68
PMP	A+B	151	0,06	16	0,00	0	0,74	0,92	0,86	0,80	muito bom	0,09**	0,74**	0,74
AD10	A+B	151	0,02	19	0,00	0	0,59	0,86	0,77	0,66	mediano	0,05**	0,59**	0,59
AD33	A+B	151	0,02	21	0,00	0	0,52	0,82	0,72	0,59	sofrível	0,04**	0,52**	0,52
CC10	A	151	0,07	15	0,09	9	0,50	0,85	0,80	0,68	bom	0,13**	0,63**	0,63
CC10	B	151	0,06	14	-0,03	-3	0,67	0,90	0,83	0,75	bom	0,15**	0,7**	0,69
CC33	A	151	0,07	16	0,09	9	0,50	0,84	0,79	0,67	bom	0,13**	0,61**	0,63
CC33	B	151	0,06	15	-0,04	-4	0,65	0,89	0,82	0,74	bom	0,15**	0,69**	0,68
PMP	A	151	0,07	19	0,09	12	0,49	0,84	0,80	0,67	bom	0,1**	0,59**	0,64
PMP	B	151	0,06	17	-0,04	-6	0,68	0,91	0,85	0,77	muito bom	0,11**	0,75**	0,72
AD10	A	151	0,02	20	-0,01	-3	0,53	0,82	0,74	0,60	sofrível	0,06**	0,5**	0,54
AD10	B	151	0,02	22	0,01	4	0,44	0,75	0,69	0,52	sofrível	0,06**	0,39**	0,48
AD33	A	151	0,02	21	0,00	0	0,52	0,82	0,72	0,59	sofrível	0,04**	0,53**	0,52
AD33	B	151	0,02	23	0,01	4	0,41	0,71	0,67	0,47	mau	0,05**	0,34**	0,45
Validação: banco de ajuste, horizontes A														
CC10	A+B	57	0,06	13	-0,02	-6	0,73	0,92	0,88	0,81	muito bom	0,11**	0,79**	0,77
CC33	A+B	57	0,06	16	-0,03	-6	0,66	0,90	0,84	0,76	bom	0,13**	0,74**	0,71
PMP	A+B	57	0,05	18	-0,02	-8	0,69	0,92	0,86	0,79	muito bom	0,07**	0,84**	0,75
AD10	A+B	57	0,02	19	0,00	1	0,55	0,84	0,74	0,62	mediano	0,05**	0,58**	0,55
AD33	A+B	57	0,02	20	0,00	0	0,56	0,84	0,75	0,63	mediano	0,04**	0,55**	0,56
CC10	A	57	0,05	12	0,00	0	0,80	0,94	0,89	0,84	muito bom	0,09**	0,8**	0,80
CC10	B	57	0,07	16	-0,03	-8	0,61	0,88	0,83	0,73	bom	0,16**	0,71**	0,69
CC33	A	57	0,05	13	0,00	0	0,80	0,94	0,90	0,84	muito bom	0,08**	0,8**	0,80
CC33	B	57	0,07	16	-0,04	-11	0,55	0,87	0,83	0,73	bom	0,15**	0,74**	0,69
PMP	A	57	0,05	16	0,00	0	0,79	0,94	0,89	0,84	muito bom	0,06**	0,79**	0,79
PMP	B	57	0,06	19	-0,05	-15	0,49	0,87	0,84	0,73	bom	0,1**	0,83**	0,71
AD10	A	57	0,02	19	0,00	0	0,53	0,83	0,73	0,60	sofrível	0,06**	0,53**	0,53
AD10	B	57	0,03	23	0,01	9	0,27	0,66	0,61	0,40	péssimo	0,08**	0,32**	0,37
AD33	A	57	0,02	20	0,00	0	0,56	0,84	0,75	0,63	mediano	0,04**	0,56**	0,56
AD33	B	57	0,02	24	0,01	7	0,34	0,66	0,66	0,44	mau	0,06**	0,3**	0,44
Validação: banco de ajuste, horizontes B/C														
CC10	A+B	68	0,06	12	0,02	4	0,67	0,90	0,84	0,76	bom	0,13**	0,69**	0,71
CC33	A+B	68	0,06	13	0,02	4	0,67	0,90	0,84	0,75	bom	0,12**	0,69**	0,70
PMP	A+B	68	0,05	13	0,02	5	0,73	0,92	0,88	0,81	muito bom	0,08**	0,73**	0,77
AD10	A+B	68	0,02	18	0,00	-1	0,34	0,68	0,59	0,40	péssimo	0,07**	0,32**	0,35
AD33	A+B	68	0,02	21	0,00	0	0,20	0,57	0,45	0,26	péssimo	0,06**	0,21**	0,20
CC10	A	68	0,06	13	0,06	15	0,13	0,77	0,82	0,63	mediano	0,14**	0,56**	0,67
CC10	B	68	0,05	11	0,01	0	0,72	0,91	0,85	0,77	muito bom	0,14**	0,72**	0,72
CC33	A	68	0,06	14	0,06	16	0,13	0,76	0,80	0,62	mediano	0,14**	0,53**	0,65
CC33	B	68	0,06	13	0,01	0	0,71	0,91	0,84	0,76	muito bom	0,13**	0,71**	0,71
PMP	A	68	0,06	16	0,07	20	0,14	0,77	0,84	0,65	mediano	0,09**	0,56**	0,71
PMP	B	68	0,05	14	0,01	0	0,76	0,93	0,87	0,81	muito bom	0,09**	0,76**	0,76
AD10	A	68	0,02	20	-0,01	-7	0,11	0,56	0,45	0,26	péssimo	0,08**	0,2**	0,21
AD10	B	68	0,02	18	0,00	0	0,34	0,70	0,58	0,40	péssimo	0,06**	0,33**	0,34
AD33	A	68	0,02	21	0,00	1	0,20	0,56	0,45	0,25	péssimo	0,06**	0,21**	0,20
AD33	B	68	0,02	21	0,00	0	0,25	0,61	0,50	0,30	péssimo	0,06**	0,25**	0,25

Continua...

Continuação...

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de validação, horizontes A+B/C														
CC10	A+B	140	0,07	15	0,00	3	0,25	0,73	0,57	0,42	mau	0,25**	0,44**	0,32
CC33	A+B	94	0,06	13	0,00	1	0,58	0,86	0,76	0,65	mediano	0,17**	0,6**	0,58
PMP	A+B	132	0,07	20	0,00	4	0,34	0,77	0,62	0,48	mau	0,17**	0,47**	0,39
AD10	A+B	140	0,03	25	0,00	0	0,33	0,69	0,58	0,40	péssimo	0,08**	0,33**	0,33
AD33	A+B	88	0,02	23	0,00	5	0,34	0,71	0,61	0,43	mau	0,06**	0,36**	0,37
CC10	A	149	0,07	15	0,02	11	-0,19	0,67	0,53	0,35	péssimo	0,22**	0,42**	0,28
CC10	B	141	0,07	14	-0,01	2	0,31	0,75	0,60	0,45	mau	0,25**	0,45**	0,35
CC33	A	98	0,07	17	0,03	9	0,13	0,73	0,60	0,44	mau	0,18**	0,49**	0,36
CC33	B	94	0,06	13	-0,01	-3	0,57	0,86	0,77	0,66	bom	0,18**	0,62**	0,59
PMP	A	140	0,08	21	0,02	11	0,08	0,68	0,54	0,37	péssimo	0,19**	0,37**	0,29
PMP	B	132	0,08	22	-0,01	2	0,26	0,73	0,55	0,40	péssimo	0,2**	0,41**	0,31
AD10	A	140	0,03	29	0,00	-5	0,10	0,54	0,37	0,20	péssimo	0,1**	0,18**	0,14
AD10	B	140	0,03	25	0,01	9	0,27	0,68	0,60	0,41	mau	0,07**	0,34**	0,36
AD33	A	88	0,02	24	0,00	5	0,34	0,71	0,60	0,43	mau	0,06**	0,36**	0,36
AD33	B	84	0,02	23	0,01	11	0,29	0,66	0,71	0,47	mau	0,06**	0,3**	0,50
Validação: banco de validação, horizontes A														
CC10	A+B	84	0,07	15	0,00	1	0,17	0,69	0,51	0,35	péssimo	0,27**	0,4**	0,26
CC33	A+B	67	0,06	13	0,00	1	0,42	0,79	0,66	0,53	sofrível	0,21**	0,51**	0,44
PMP	A+B	75	0,07	20	0,00	0	0,23	0,72	0,54	0,39	péssimo	0,19**	0,43**	0,29
AD10	A+B	83	0,03	24	0,00	1	0,16	0,54	0,40	0,22	péssimo	0,11**	0,19**	0,16
AD33	A+B	61	0,03	24	0,01	5	-0,06	0,47	0,21	0,10	péssimo	0,09**	0,1**	0,05
CC10	A	92	0,07	14	0,02	6	0,10	0,71	0,57	0,41	péssimo	0,21**	0,5**	0,33
CC10	B	84	0,06	14	0,00	0	0,28	0,72	0,56	0,40	péssimo	0,28**	0,41**	0,31
CC33	A	71	0,06	14	0,02	5	0,22	0,76	0,62	0,47	mau	0,17**	0,57**	0,38
CC33	B	67	0,06	13	-0,02	-4	0,39	0,79	0,67	0,53	sofrível	0,22**	0,53**	0,45
PMP	A	83	0,07	20	0,01	3	0,28	0,72	0,57	0,41	mau	0,19**	0,41**	0,33
PMP	B	75	0,07	20	-0,02	-6	0,22	0,72	0,56	0,40	péssimo	0,21**	0,42**	0,32
AD10	A	83	0,04	27	0,00	-1	-0,03	0,38	0,17	0,06	péssimo	0,13**	0,07**	0,03
AD10	B	83	0,03	23	0,02	12	0,02	0,59	0,48	0,28	péssimo	0,09**	0,24**	0,23
AD33	A	61	0,03	24	0,01	5	-0,07	0,47	0,21	0,10	péssimo	0,09**	0,1**	0,05
AD33	B	57	0,02	19	0,02	15	-0,12	0,62	0,63	0,39	péssimo	0,07**	0,24**	0,39
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A+B	57	0,07	14	0,03	7	0,31	0,77	0,66	0,51	sofrível	0,22**	0,49**	0,44
CC33	A+B	27	0,06	14	0,01	2	0,73	0,91	0,86	0,79	muito bom	0,13**	0,69**	0,74
PMP	A+B	57	0,07	19	0,04	10	0,27	0,77	0,66	0,51	mau	0,16**	0,5**	0,44
AD10	A+B	57	0,02	22	0,00	-2	0,25	0,60	0,51	0,31	péssimo	0,08**	0,23**	0,26
AD33	A+B	27	0,02	26	0,00	-2	0,04	0,47	0,26	0,12	péssimo	0,07**	0,1**	0,07
CC10	A	57	0,07	13	0,09	18	-0,37	0,66	0,72	0,48	mau	0,19**	0,43**	0,52
CC10	B	57	0,07	15	0,03	6	0,33	0,78	0,66	0,52	sofrível	0,21**	0,51**	0,43
CC33	A	27	0,07	16	0,07	15	0,34	0,79	0,85	0,67	bom	0,15**	0,52**	0,73
CC33	B	27	0,06	13	-0,01	-2	0,74	0,92	0,87	0,80	muito bom	0,14**	0,7**	0,75
PMP	A	57	0,07	17	0,08	20	-0,15	0,69	0,72	0,50	mau	0,15**	0,43**	0,52
PMP	B	57	0,08	20	0,04	10	0,17	0,75	0,62	0,47	mau	0,15**	0,51**	0,39
AD10	A	57	0,02	26	-0,02	-16	-0,40	0,49	0,24	0,12	péssimo	0,1**	0,12**	0,06
AD10	B	57	0,02	22	0,00	5	0,21	0,63	0,50	0,31	péssimo	0,07**	0,26**	0,25
AD33	A	27	0,02	26	0,00	-1	0,05	0,46	0,26	0,12	péssimo	0,07**	0,1**	0,07
AD33	B	27	0,02	27	0,00	-3	-0,05	0,45	0,17	0,08	péssimo	0,07**	0,08**	0,03

⁽¹⁾ Números entre parêntesis para os atributos do solo correspondem a sucção aplicada para a umidade do solo (CC e PMP) e a sucção no limite superior no conteúdo e água disponível (AD); ⁽²⁾ Horizonte utilizado como banco de dados para ajuste da função de pedotransferência. ⁽³⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro "a" da equação da reta não difere de zero. ⁽⁴⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro "b" da equação da reta não difere de 1.

4.4.1.6 Modelo 6: Granulometria do solo, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações

A utilização da granulometria, MO, densidade do solo e de partículas do solo, porosidade total (estimada) em escala original, transformada, ou pelo seu efeito multiplicativo como possíveis variáveis preditoras em FPTs, indicou que o efeito desses atributos sobre a retenção ou disponibilidade de água dos solos não ocorre de forma linear, pois todas as variáveis independentes selecionadas pelo programa estatístico foram aquelas transformadas ou multiplicadas.

Os coeficiente de determinação das FPTs para a retenção ou disponibilidade de água geralmente foram maiores no modelo 6, em relação ao modelo 5, com diferenças entre 0,02 a 0,15 (**Tabela 77**), com maiores diferenças para as FPTs que estimam a retenção de água dos horizontes subsuperficiais. Quanto à raiz do erro médio ao quadrado, houve uma redução de $0,01 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nas FPTs para retenção de água geradas dos horizontes agrupados ou divididos, o que significa um avanço na capacidade preditiva das FPTs do modelo 6. Essas melhorias resultaram em melhores estimativas nas FPTs dos horizontes superficiais, com maiores diferenças na estimativa da disponibilidade de água.

Na validação das FPTs dos horizontes agrupados, observou-se que, na média dos bancos 1 e 4, as umidades estimadas nas sucções de 10, 33 e 1.500 kPa diferiram das medidas (REMQ) em aproximadamente $|0,06| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram próximas da relação 1:1 ($0,45 \leq EF \leq 0,66$; $0,86 \leq d \leq 0,90$), tiveram médias parecidas ($2 \% \leq PBIAS \leq 3\%$) e um desempenho entre mediano a bom dessas FPTs (**Tabela 78**). A predição das FPTs para a retenção de água dos horizontes agrupados foi um pouco melhor para a umidade dos horizontes subsuperficiais. Para a disponibilidade de água, as AD estimadas diferiram das medidas em aproximadamente $|0,02| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram um pouco afastados da relação 1:1 ($0,44 \leq EF \leq 0,50$; $0,77 \leq d \leq 0,80$), tiveram médias parecidas ($0 \% \leq PBIAS \leq 2 \%$) e um desempenho sofrível. Na retenção de água, esses indicadores foram um pouco inferiores ao das FPTs do Modelo 4, semelhantes a aqueles das FPTs do Modelo 5 e, para a disponibilidade de água, foram melhores do que as FPTs dos demais modelos (1 a 5).

Tabela 77. Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 6: Granulometria do solo, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações**, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo (sucção)	Horizonte	Intercepto	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	Parâmetro 4	Parâmetro 5	Parâmetro 6	R ² ⁽²⁾	R ² ajustado ⁽³⁾	REMQ ⁽⁴⁾ (cm ³ cm ⁻³)	CV ⁽⁵⁾ (%)
CC10	A+B	2,63	-0,46* $\sqrt{e}$	-9,241*1/f	11,633*1/f ²	0,545*b*e	-0,07*a*e	-0,444*c ²	0,82	0,81	0,05	11
CC33	A+B	0,33	-0,1*e ²	0,654*b*e	0,0000038*d ²	-0,0027*b*d	0,003*b*d	-0,393*c ²	0,84	0,83	0,05	11
PMP	A+B	-0,43	0,468*b*e	0,64*b*g	0,0725*ln(1000/ $\sqrt{d}$)	0,0047*a*d	-	-	0,85	0,85	0,04	12
AD10	A+B	0,07	-0,163*b*e	0,00106*b*d	0,2* $\sqrt{c}$	-0,01531*ln(1/ $\sqrt{a}$)	-	-	0,64	0,63	0,02	18
AD33	A+B	0,07	0,0011*b*d	0,195*a*b	-	-	-	-	0,53	0,52	0,02	21
CC10	A	0,62	-0,462*g ²	-0,295*a*e	0,00059*d*f	0,00227*a*d	-0,00002*1/a ²	-	0,88	0,87	0,04	10
CC10	B	0,40	-0,39596*a*e	0,00049*1000/ $\sqrt{d}$	0,01929*a*d	0,347*a*c	-7,659*a ² *b ²	-	0,84	0,83	0,04	9
CC33	A	0,65	-0,586*g ²	-0,322*a*e	0,00047*d*f	0,00345*a*d	-2,089*a ² *b ²	-0,00003*1/a ²	0,89	0,88	0,04	10
CC33	B	0,36	-0,109*a*f	0,00061*1000/ $\sqrt{d}$	0,02325*a*d	-10,73*a ² *b ²	-0,383*a ²	-	0,84	0,83	0,04	10
PMP	A	0,58	-0,545*g ²	-0,33*a*e	0,00454*a*d	-3,195*a ² *b ²	-	-	0,88	0,87	0,04	12
PMP	B	-0,60	-0,564*c ²	1,46* $\sqrt{c}$	0,0773*1/ $\sqrt{c}$	-	-	-	0,83	0,82	0,04	12
AD10	A	0,10	0,0013*b*d	0,179*a*b	-	-	-	-	0,55	0,54	0,02	19
AD10	B	0,06	-0,166*b*e	0,00211*a*d	0,188* $\sqrt{c}$	-	-	-	0,43	0,40	0,02	17
AD33	A	0,06	0,00026*d*f	0,156*a*b	-0,00042*1/a	-	-	-	0,61	0,59	0,02	20
AD33	B	0,06	0,0916*g ²	0,00189*b*d	-0,02131*ln(1/ $\sqrt{a}$)	-	-	-	0,29	0,26	0,02	20

⁽¹⁾ a: teor de areia (kg kg⁻¹); b: teor de silte (kg kg⁻¹); c: teor de argila (kg kg⁻¹); d: teor de matéria orgânica (g kg⁻¹); e: densidade do solo (g cm⁻³); f: densidade do partículas (g cm⁻³); g: porosidade total (cm³ cm⁻³); obtida pela equação: $g = 1 - (e/2,65)$.

⁽²⁾ R²: coeficiente de determinação; ⁽³⁾ R² ajust.: coeficiente de determinação ajustado; REMQ: raiz erro quadrático médio e; CV: coeficiente de variação.

Tabela 78. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 6** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de ajuste horizontes, A+B/C														
CC10	A+B	151	0,05	11	0,00	0	0,82	0,95	0,90	0,86	muito bom	0,08**	0,81**	0,82
CC33	A+B	151	0,05	11	0,00	0	0,84	0,95	0,91	0,87	ótimo	0,07**	0,84**	0,84
PMP	A+B	151	0,04	12	0,00	0	0,86	0,96	0,92	0,89	ótimo	0,05**	0,86**	0,86
AD10	A+B	151	0,02	18	0,00	0	0,64	0,88	0,80	0,70	bom	0,04**	0,64**	0,64
AD33	A+B	151	0,02	21	0,00	0	0,53	0,83	0,73	0,60	sofrível	0,04**	0,53**	0,53
CC10	A	151	0,06	14	0,08	8	0,56	0,88	0,82	0,72	bom	0,09**	0,73**	0,68
CC10	B	151	0,13	29	-0,07	-9	-0,48	0,75	0,67	0,50	mau	0,01	1,06	0,45
CC33	A	151	0,06	14	0,08	8	0,60	0,89	0,84	0,74	bom	0,08**	0,74**	0,70
CC33	B	151	0,15	35	-0,08	-10	-0,93	0,70	0,63	0,45	mau	0	1,09	0,40
PMP	A	151	0,05	14	0,06	8	0,73	0,92	0,90	0,83	muito bom	0,05**	0,77**	0,80
PMP	B	151	0,06	18	-0,02	-3	0,69	0,92	0,84	0,77	muito bom	0,08**	0,8**	0,71
AD10	A	151	0,02	20	-0,01	-5	0,49	0,80	0,73	0,58	sofrível	0,06**	0,47**	0,54
AD10	B	151	0,02	21	0,00	0	0,51	0,85	0,74	0,63	mediano	0,04**	0,67**	0,54
AD33	A	151	0,02	20	0,00	2	0,54	0,84	0,74	0,62	mediano	0,03**	0,59**	0,54
AD33	B	151	0,02	25	-0,01	-5	0,26	0,83	0,72	0,60	sofrível	0,01*	0,88	0,52
Validação: banco de ajuste, horizontes A														
CC10	A+B	57	0,05	11	-0,01	-2	0,83	0,95	0,91	0,87	ótimo	0,07**	0,85**	0,84
CC33	A+B	57	0,04	11	0,00	-2	0,86	0,96	0,93	0,89	ótimo	0,06**	0,87**	0,86
PMP	A+B	57	0,04	13	0,00	-3	0,86	0,96	0,93	0,89	ótimo	0,04**	0,89*	0,86
AD10	A+B	57	0,02	18	0,00	1	0,60	0,87	0,77	0,67	bom	0,04**	0,63**	0,60
AD33	A+B	57	0,02	20	0,00	1	0,57	0,86	0,76	0,65	mediano	0,04**	0,61**	0,58
CC10	A	57	0,04	10	0,00	0	0,88	0,97	0,94	0,90	ótimo	0,05**	0,88**	0,88
CC10	B	57	0,18	42	-0,07	-20	-1,79	0,68	0,70	0,47	mau	-0,09	1,4*	0,48
CC33	A	57	0,04	10	0,00	0	0,89	0,97	0,94	0,92	ótimo	0,04**	0,89**	0,89
CC33	B	57	0,21	52	-0,08	-24	-2,91	0,63	0,68	0,42	mau	-0,13	1,57**	0,46
PMP	A	57	0,04	12	0,00	0	0,88	0,97	0,94	0,91	ótimo	0,04**	0,88**	0,88
PMP	B	57	0,07	24	-0,02	-8	0,44	0,86	0,76	0,65	mediano	0,09**	0,79*	0,58
AD10	A	57	0,02	19	0,00	0	0,55	0,83	0,74	0,62	mediano	0,06**	0,55**	0,55
AD10	B	57	0,03	23	0,00	0	0,37	0,81	0,67	0,55	sofrível	0,04**	0,66**	0,46
AD33	A	57	0,02	19	0,00	0	0,61	0,87	0,78	0,68	bom	0,04**	0,61**	0,61
AD33	B	57	0,03	28	-0,01	-10	0,07	0,82	0,74	0,61	sofrível	0,01	1,01	0,55
Validação: banco de ajuste, horizontes B/C														
CC10	A+B	68	0,05	10	0,01	2	0,78	0,94	0,89	0,83	muito bom	0,09**	0,79**	0,79
CC33	A+B	68	0,05	10	0,00	1	0,79	0,94	0,89	0,84	muito bom	0,08**	0,81**	0,80
PMP	A+B	68	0,04	12	0,01	2	0,82	0,95	0,91	0,86	ótimo	0,05**	0,84**	0,83
AD10	A+B	68	0,02	17	0,00	-1	0,41	0,76	0,65	0,49	mau	0,06**	0,41**	0,42
AD33	A+B	68	0,02	21	0,00	-1	0,20	0,55	0,46	0,25	péssimo	0,06**	0,19**	0,21
CC10	A	68	0,06	13	0,07	14	0,17	0,80	0,79	0,63	mediano	0,09**	0,67**	0,63
CC10	B	68	0,04	9	0,00	0	0,84	0,96	0,92	0,88	ótimo	0,07**	0,84**	0,84
CC33	A	68	0,06	14	0,07	14	0,26	0,81	0,80	0,65	mediano	0,07**	0,7**	0,64
CC33	B	68	0,04	9	0,00	0	0,84	0,95	0,91	0,87	ótimo	0,07**	0,84**	0,84
PMP	A	68	0,05	12	0,06	14	0,56	0,88	0,90	0,79	muito bom	0,03	0,78**	0,81
PMP	B	68	0,04	12	0,01	0	0,83	0,95	0,91	0,87	ótimo	0,07**	0,83**	0,83
AD10	A	68	0,02	20	-0,01	-11	-0,07	0,53	0,46	0,24	péssimo	0,09**	0,16**	0,21
AD10	B	68	0,02	17	0,00	0	0,42	0,76	0,65	0,50	mau	0,06**	0,42**	0,42
AD33	A	68	0,02	22	0,00	3	0,14	0,61	0,43	0,27	péssimo	0,05**	0,26**	0,19
AD33	B	68	0,02	20	0,00	0	0,29	0,66	0,54	0,35	péssimo	0,06**	0,29**	0,29

Continua...

Continuação...

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de validação, horizontes A+B/C														
CC10	A+B	140	0,06	14	0,01	5	0,30	0,78	0,65	0,51	sofrível	0,19**	0,55**	0,43
CC33	A+B	98	0,06	14	0,01	4	0,48	0,85	0,74	0,63	mediano	0,13**	0,67**	0,55
PMP	A+B	140	0,09	24	0,00	6	0,05	0,71	0,51	0,36	péssimo	0,17**	0,46**	0,26
AD10	A+B	140	0,03	25	0,00	1	0,37	0,72	0,61	0,44	mau	0,08**	0,36**	0,38
AD33	A+B	88	0,02	23	0,00	5	0,35	0,72	0,71	0,50	mau	0,05**	0,38**	0,50
CC10	A	141	0,08	17	0,03	4	0,05	0,73	0,54	0,40	péssimo	0,20**	0,53**	0,29
CC10	B	149	0,10	21	-0,01	-4	-0,53	0,68	0,51	0,34	péssimo	0,17**	0,69**	0,26
CC33	A	94	0,07	16	0,03	5	0,35	0,82	0,70	0,57	sofrível	0,12**	0,67**	0,49
CC33	B	94	0,09	21	-0,02	-9	-0,29	0,76	0,67	0,51	mau	0,07*	0,94	0,45
PMP	A	140	0,07	19	0,02	8	0,28	0,77	0,65	0,50	mau	0,14**	0,52**	0,42
PMP	B	140	0,08	22	0,00	6	0,15	0,75	0,57	0,43	mau	0,15**	0,52**	0,32
AD10	A	140	0,03	28	0,00	-7	0,12	0,54	0,41	0,22	péssimo	0,10**	0,18**	0,17
AD10	B	140	0,03	25	0,01	2	0,36	0,72	0,60	0,43	mau	0,07**	0,36**	0,36
AD33	A	84	0,02	25	0,01	4	0,28	0,72	0,57	0,41	mau	0,06**	0,4**	0,32
AD33	B	88	0,03	28	0,00	-3	0,12	0,72	0,53	0,38	péssimo	0,05**	0,48**	0,28
Validação: banco de validação, horizontes A														
CC10	A+B	84	0,06	13	0,02	5	0,24	0,74	0,60	0,44	mau	0,23**	0,47**	0,36
CC33	A+B	71	0,06	14	0,01	6	0,25	0,77	0,64	0,49	mau	0,17**	0,54**	0,41
PMP	A+B	83	0,08	25	0,00	4	-0,15	0,62	0,37	0,23	péssimo	0,22**	0,33**	0,14
AD10	A+B	83	0,03	24	0,00	2	0,15	0,54	0,40	0,21	péssimo	0,11**	0,19**	0,16
AD33	A+B	61	0,03	24	0,01	6	-0,07	0,53	0,28	0,15	péssimo	0,08**	0,16**	0,08
CC10	A	84	0,07	15	0,00	1	0,13	0,73	0,55	0,40	péssimo	0,22**	0,52**	0,30
CC10	B	92	0,10	21	-0,04	-12	-1,38	0,64	0,55	0,35	péssimo	0,11	0,88	0,31
CC33	A	67	0,06	14	0,01	3	0,32	0,81	0,67	0,54	sofrível	0,13**	0,68**	0,45
CC33	B	67	0,09	20	-0,04	-11	-0,77	0,73	0,69	0,51	mau	-0,01*	1,12	0,48
PMP	A	83	0,06	18	0,00	2	0,40	0,78	0,65	0,51	mau	0,17**	0,49**	0,42
PMP	B	83	0,08	23	0,00	1	0,06	0,73	0,53	0,39	péssimo	0,16**	0,52**	0,28
AD10	A	83	0,04	27	0,00	-1	-0,01	0,41	0,21	0,09	péssimo	0,12**	0,09**	0,04
AD10	B	83	0,03	24	0,00	3	0,17	0,60	0,44	0,26	péssimo	0,10**	0,24**	0,19
AD33	A	57	0,03	23	0,01	6	-0,05	0,54	0,30	0,16	péssimo	0,09**	0,17**	0,09
AD33	B	61	0,03	29	0,00	-6	-0,60	0,46	0,13	0,06	péssimo	0,10**	0,11**	0,02
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A+B	57	0,07	14	0,03	6	0,34	0,81	0,69	0,56	sofrível	0,15**	0,63**	57
CC33	A+B	27	0,06	12	0,00	-1	0,79	0,94	0,89	0,83	muito bom	0,09*	0,81*	27
PMP	A+B	57	0,07	17	0,01	7	0,44	0,84	0,73	0,61	mediano	0,11**	0,66**	57
AD10	A+B	57	0,02	21	0,00	-2	0,32	0,70	0,57	0,40	péssimo	0,07**	0,33**	57
AD33	A+B	27	0,02	24	0,00	-5	0,13	0,49	0,41	0,20	péssimo	0,07**	0,15**	27
CC10	A	57	0,07	13	0,04	11	0,19	0,78	0,72	0,55	sofrível	0,15**	0,58**	57
CC10	B	57	0,08	17	0,02	7	0,04	0,75	0,60	0,45	mau	0,15**	0,61**	57
CC33	A	27	0,06	14	0,02	12	0,54	0,87	0,86	0,75	bom	0,07	0,72**	27
CC33	B	27	0,06	14	0,00	-2	0,73	0,93	0,86	0,80	muito bom	0,09*	0,81*	27
PMP	A	57	0,06	16	0,05	15	0,16	0,78	0,75	0,58	sofrível	0,09**	0,63**	57
PMP	B	57	0,08	19	0,04	9	0,25	0,79	0,66	0,52	sofrível	0,12**	0,59**	57
AD10	A	57	0,02	25	-0,02	-21	-0,58	0,51	0,31	0,16	péssimo	0,10**	0,13**	57
AD10	B	57	0,02	22	0,00	0	0,24	0,66	0,50	0,33	péssimo	0,07**	0,31**	57
AD33	A	27	0,02	25	0,00	-1	0,12	0,52	0,36	0,19	péssimo	0,06**	0,17**	27
AD33	B	27	0,02	26	0,00	-3	0,03	0,41	0,25	0,10	péssimo	0,07**	0,10**	27

⁽¹⁾ Números entre parêntesis para os atributos do solo correspondem a sucção aplicada para a umidade do solo (CC e PMP) e a sucção no limite superior no conteúdo e água disponível (AD); ⁽²⁾ Horizonte utilizado como banco de dados para ajuste da função de pedotransferência. ⁽³⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro "a" da equação da reta não difere de zero. ⁽⁴⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro "b" da equação da reta não difere de 1.

O uso da granulometria, MO, densidade do solo e de partículas do solo e porosidade total em escala original, transformada ou pelo seu efeito multiplicativo, melhorou principalmente a capacidade de predição das FPTs para a AD10 dos horizontes subsuperficiais do solo, em relação aos demais modelos (4 e 5). No entanto, os indicadores estatísticos das FPTs para estimativa da disponibilidade de água ainda permaneceram medianos.

4.4.1.7 Modelo 7: Cinco classes de areia, silte, argila, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações

O uso dos fração areia dividida em cinco classes (USDA, 1993) e das variáveis já utilizadas modelo 6, em escala original, transformada ou pelo seu efeito multiplicativo como possíveis variáveis preditoras em FPTs, indicou que o efeito desses atributos sobre a retenção ou disponibilidade de água dos solos não ocorre de forma linear, pois todas as variáveis independentes selecionadas pelo programa estatístico foram aquelas transformadas ou multiplicadas. Para o conteúdo de água disponível, embora as variáveis independentes não estejam em escala original, as FPTs geradas indicaram que o aumento dos teores de areia muito fina, silte e matéria orgânica favorecem o aumento da disponibilidade de água nos horizontes superficiais, enquanto que aumento na densidade do solo resulta em efeito inverso. Quanto aos horizontes subsuperficiais, as relações foram mais complexas, mas indicam que ocorre aumento da disponibilidade de água quando aumentam os teores de areia média, fina e muito fina, silte e MO do solo, ocorrendo reduções com os aumentos dos teores de areia muito grossa e argila e da densidade do solo.

Os coeficiente de determinação das FPTs para a retenção ou disponibilidade de água foram iguais maiores no modelo 7 em relação ao modelo 6, com diferenças entre 0,00 a 0,19 (**Tabela 79**). Os maiores ganhos foram para as FPTs que estimam a disponibilidade de água de cada horizonte do solo. Quanto à raiz do erro médio ao quadrado, houve uma redução de um pouco menos de $0,01 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nas FPTs para retenção de água dos horizontes subsuperficiais, o que significa um avanço na capacidade preditiva das FPTs do modelo 7. Essas melhorias resultaram em estimativas semelhantes nas FPTs nos dois horizontes para a retenção de água.

Na validação das FPTs dos horizontes agrupados, observou-se que, na média dos

bancos 1 e 4, as umidades estimadas nas sucções de 10, 33 e 1.500 kPa diferiram das medidas (REMQ) em aproximadamente $|0,05| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram bastante próximas da relação 1:1 ($0,74 \leq EF \leq 0,77$; $0,92 \leq d \leq 0,93$) e tiveram médias muito parecidas ($0 \% \leq PBIAS \leq 2\%$), o que resultou em um desempenho muito bom dessas FPTs (**Tabela 80**). A predição das FPTs para a retenção de água dos horizontes agrupados foi um pouco superior para a umidade dos horizontes subsuperficiais. Para a disponibilidade de água, as AD estimadas diferiram das medidas em aproximadamente $|0,02| \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, ficaram um pouco afastados da relação 1:1 ($0,34 \leq EF \leq 0,37$; $0,81 \leq d \leq 0,85$), tiveram médias parecidas ($5 \% \leq PBIAS \leq 0 \%$), o que resultou em um desempenho entre mediano a sofrível. Entretanto, faz-se importante destacar que foi utilizado um menor número de amostras nos bancos exclusivo de validação (banco 4), pois em boa parte amostras tinham disponíveis apenas os teores de areia total, o que pode ter afetado os resultados da validação das FPTs.

A estimativa da retenção ou disponibilidade de água foram melhores nas FPTs do modelo 7 em relação aos dos demais seis modelos avaliados, principalmente nas FPTs para a disponibilidade de água nos horizontes superficiais e subsuperficiais do solo. Contudo, os indicadores estatísticos das FPTs para estimativa da disponibilidade de água ainda permaneceram ruins, principalmente dos horizontes subsuperficiais,.

Tabela 79. Funções de pedotransferência pontuais para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e conteúdo de água disponível (AD) utilizando os atributos físicos do solo selecionados no **Modelo 7: Cinco classes de areia, silte, argila, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações**, para diferentes horizontes de solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Atributo (sucção)	Horizonte	Intercepto	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	Parâmetro 4	Parâmetro 5	Parâmetro 6	Parâmetro 7	R ² (2)	R ² ajustado (3)	REMQ (4) (cm ³ cm ⁻³)	CV (5) (%)
CC (10 kPa)	A+B	0,56	0.0000091*d ²	-0.00274*b*d	-5.062*a ² *b ²	-0.429*a ²	-	-	-	0,80	0,80	0,05	11,07
CC (33 kPa)	A+B	0,58	0.223*a*k	-0.0669*1/e ²	0.0000049*d ²	-0.00248*b*d	0.005*a*d	-6.858*a ² *b ²	-0.6761*a ²	0,83	0,82	0,05	11,05
PMP (1.500 kPa)	A+B	0,18	0.00892*d*i	-0.06892*1/e ²	-0.00486*b*d	0.00508*b*d	2.222*c	-1.112*c ²	-0.793*√c	0,87	0,87	0,04	11,82
AD (10-1.500 kPa)	A+B	0,04	-0.3753*a*i	0.0000168*a*i	0.4981*1/i	0.0115*d*l	0.0811*1/e	0.000522*b*d	-0.0719*c ²	0,72	0,71	0,02	15,83
AD (33-1.500 kPa)	A+B	0,07	0.00902*d*l	0.000943*b*d	-0.00189*1/√a	-	-	-	-	0,63	0,62	0,02	18,56
CC10	A	0,56	0,014*d*k	0,00578*d*h	-0,261*g ²	0,0000038*d ²	-4,028*a ² *b ²	-0,534*a ²	-	0,88	0,87	0,04	10
CC10	B	0,33	0,731*a*k	0,005*1/√j	-0,002*1/√h	0,000628*1000/√d	0,029*a*d	-11,555*a ² *b ²	-1,144*a ²	0,89	0,88	0,04	8
CC33	A	0,58	0,013*d*k	0,00686*d*h	-0,14968*1/e	0,0000039*d ²	-4,08*a ² *b ²	-0,515*a ²	-	0,88	0,87	0,04	10
CC33	B	0,41	0,724*a*k	0,00532*1/√j	-0,00256*1/√h	-0,115*1/e	0,000621*1000/√d	0,0292*a*d	-12,86*a ² *b ²	0,88	0,87	0,04	8
PMP	A	0,50	0,169*a*k	-0,374*g ²	0,00478*a*d	-5,45*a ² *b ²	-0,586*a ²	-	-	0,88	0,87	0,04	13
PMP	B	-0,17	-1,746*a*h	0,0491*d*h	-0,652*1/e ²	1,539*g ²	0,00675*d	-0,0147*b*d	-1,709*b*c	0,92	0,91	0,03	9
AD10	A	0,06	0,013*d*l	0,0383*1/e	0,00074*b*d	-	-	-	-	0,73	0,72	0,02	15
AD10	B	0,09	-0,774*j ²	-0,784*a*h	0,0166*d*h	0,0668*1/e ²	-0,651*b ² *c ²	-0,0837*c ²	-	0,57	0,54	0,01	15
AD33	A	0,07	0,0107*d*l	0,00086*b*d	-	-	-	-	-	0,73	0,72	0,02	16
AD33	B	0,09	0,393*k ²	-0,27*a*k	0,00776*d*h	0,808*b*l	-0,0241*e ²	0,00115*b*d	0,15*a*c	0,48	0,43	0,01	18

(1) a: teor de areia (kg kg⁻¹); b: teor de silte (kg kg⁻¹); c: teor de argila (kg kg⁻¹); d: teor de matéria orgânica (g kg⁻¹); e: densidade do solo (g cm⁻³); f: densidade do partículas (g cm⁻³); g: porosidade total (cm³ cm⁻³); obtida pela equação: $g = 1 - (e/2,65)$; h: teor de areia muito grossa (kg kg⁻¹); i: teor de areia grossa (kg kg⁻¹); j: teor de areia média (kg kg⁻¹); k: teor de areia fina (kg kg⁻¹); l: teor de areia muito fina (kg kg⁻¹).

(2) R²: coeficiente de determinação; (3) R² ajust.: coeficiente de determinação ajustado; REMQ: raiz do erro quadrático médio e; CV: coeficiente de variação.

Tabela 80. Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas no **Modelo 7** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de validação, horizontes A+B/C														
CC10	A+B	151	0,05	11	0,00	1,0	0,80	0,94	0,90	0,85	muito bom	0,09**	0,8**	0,80
CC33	A+B	151	0,05	11	0,00	0,4	0,83	0,95	0,91	0,87	ótimo	0,07**	0,83**	0,83
PMP	A+B	151	0,04	12	0,01	3,1	0,87	0,96	0,93	0,90	ótimo	0,04**	0,87**	0,87
AD10	A+B	151	0,02	15	-0,01	-0,3	0,72	0,91	0,85	0,78	muito bom	0,03**	0,72**	0,72
AD33	A+B	151	0,02	18	-0,01	-10,2	0,63	0,87	0,79	0,69	bom	0,03**	0,63**	0,63
CC10	A	151	0,05	12	0,02	4,3	0,74	0,93	0,88	0,82	muito bom	0,06**	0,81**	0,78
CC10	B	151	0,20	44	-0,04	-9,2	-2,25	0,65	0,64	0,42	mau	-0,16*	1,44**	0,41
CC33	A	151	0,05	12	0,02	5,4	0,72	0,92	0,88	0,81	muito bom	0,07**	0,78**	0,78
CC33	B	151	0,19	44	-0,04	-8,8	-1,83	0,67	0,65	0,43	mau	-0,12*	1,37**	0,42
PMP	A	151	0,05	14	0,02	5,7	0,75	0,92	0,90	0,83	muito bom	0,06**	0,74**	0,81
PMP	B	151	0,11	32	0,02	6,8	-0,04	0,78	0,67	0,52	sofrível	0,05	0,9	0,45
AD10	A	151	0,02	18	-0,01	-12,7	0,61	0,86	0,79	0,68	bom	0,05**	0,6**	0,63
AD10	B	151	0,06	50	0,00	-0,4	-1,95	0,65	0,63	0,41	péssimo	-0,03*	1,35*	0,39
AD33	A	151	0,02	19	-0,01	-11,6	0,61	0,87	0,78	0,68	bom	0,03**	0,61**	0,61
AD33	B	151	0,03	36	-0,01	-7,5	-0,44	0,77	0,69	0,53	sofrível	-0,01	1,14	0,48
Validação: banco de validação, horizontes A														
CC10	A+B	57	0,05	11	-0,01	-1	0,83	0,95	0,91	0,87	ótimo	0,07**	0,85**	0,83
CC33	A+B	57	0,04	11	-0,01	-2	0,86	0,96	0,93	0,89	ótimo	0,06**	0,88**	0,86
PMP	A+B	57	0,04	13	-0,01	-2	0,86	0,96	0,93	0,90	ótimo	0,04*	0,9*	0,87
AD10	A+B	57	0,02	14	0,00	0	0,74	0,93	0,86	0,80	muito bom	0,02**	0,79**	0,75
AD33	A+B	57	0,02	16	0,00	0	0,73	0,92	0,85	0,78	muito bom	0,03**	0,73**	0,73
CC10	A	57	0,04	9	0,00	0	0,88	0,97	0,94	0,91	ótimo	0,05**	0,88**	0,88
CC10	B	57	0,29	67	-0,09	-21	-5,34	0,58	0,71	0,41	péssimo	-0,4**	2,13**	0,50
CC33	A	57	0,04	10	0,00	0	0,88	0,97	0,94	0,91	ótimo	0,05**	0,88**	0,88
CC33	B	57	0,27	68	-0,08	-20	-4,86	0,59	0,71	0,42	mau	-0,36**	2,09**	0,51
PMP	A	57	0,04	12	0,00	0	0,88	0,97	0,94	0,90	ótimo	0,04**	0,88**	0,88
PMP	B	57	0,16	53	-0,05	-15	-1,50	0,63	0,56	0,35	péssimo	0,04	1,02	0,31
AD10	A	57	0,02	15	0,00	0	0,73	0,92	0,85	0,78	muito bom	0,03**	0,73**	0,73
AD10	B	57	0,08	64	-0,01	-9	-4,19	0,57	0,62	0,35	péssimo	-0,08*	1,68*	0,38
AD33	A	57	0,02	16	0,00	0	0,73	0,92	0,86	0,78	muito bom	0,03**	0,73**	0,73
AD33	B	57	0,04	44	-0,01	-11	-1,21	0,72	0,69	0,50	mau	-0,02	1,35	0,48
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A+B	68	0,05	11	0,01	1	0,76	0,93	0,87	0,81	muito bom	0,11**	0,75**	0,76
CC33	A+B	68	0,05	11	0,01	1	0,79	0,94	0,89	0,84	muito bom	0,09**	0,8**	0,79
PMP	A+B	68	0,04	11	0,01	1	0,85	0,96	0,92	0,88	ótimo	0,05**	0,85**	0,85
AD10	A+B	68	0,02	17	0,00	0	0,45	0,78	0,67	0,53	sofrível	0,06**	0,44**	0,46
AD33	A+B	68	0,02	21	0,00	0	0,21	0,57	0,46	0,26	péssimo	0,06**	0,21**	0,21
CC10	A	68	0,05	11	0,04	9	0,55	0,88	0,86	0,75	bom	0,06*	0,79**	0,73
CC10	B	68	0,03	7	0,00	0	0,89	0,97	0,94	0,91	ótimo	0,05**	0,89**	0,89
CC33	A	68	0,05	12	0,05	11	0,52	0,87	0,86	0,75	bom	0,06*	0,76**	0,75
CC33	B	68	0,04	8	0,00	0	0,88	0,97	0,94	0,91	ótimo	0,06**	0,88**	0,88
PMP	A	68	0,05	13	0,04	12	0,59	0,88	0,89	0,78	muito bom	0,06**	0,71**	0,80
PMP	B	68	0,03	8	0,00	0	0,92	0,98	0,96	0,94	ótimo	0,03*	0,92**	0,92
AD10	A	68	0,02	21	0,00	-7	0,02	0,49	0,35	0,17	péssimo	0,09**	0,15**	0,12
AD10	B	68	0,01	15	0,00	0	0,57	0,85	0,76	0,64	mediano	0,04**	0,57**	0,57
AD33	A	68	0,02	22	0,00	-1	0,15	0,50	0,39	0,20	péssimo	0,07**	0,16**	0,16
AD33	B	68	0,01	17	0,00	0	0,48	0,80	0,69	0,55	sofrível	0,04**	0,48**	0,48

Continua...

Continuação ...

Variáveis ⁽¹⁾	Horiz. ⁽²⁾	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a ⁽³⁾	b ⁽⁴⁾	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Validação: banco de validação, horizontes A+B/C														
CC10	A+B	64	0,06	13	0,00	1	0,68	0,89	0,83	0,74	muito bom	0,15**	0,66**	0,68
CC33	A+B	64	0,06	13	0,00	0	0,71	0,91	0,84	0,77	muito bom	0,11**	0,74**	0,71
PMP	A+B	64	0,07	19	0,01	3	0,60	0,88	0,79	0,70	muito bom	0,09**	0,71**	0,62
AD10	A+B	64	0,03	27	-0,01	0	0,02	0,79	0,68	0,54	bom	0,03*	0,85	0,47
AD33	A+B	64	0,02	25	-0,01	-10	0,05	0,75	0,61	0,46	mediano	0,04**	0,65**	0,38
Validação: banco de validação, horizontes A														
CC10	A	64	0,07	14	0,02	4	0,59	0,88	0,80	0,70	muito bom	0,1**	0,73**	0,64
CC10	B	64	0,10	22	-0,04	-9	-0,06	0,80	0,72	0,58	bom	0,05	0,99	0,52
CC33	A	64	0,07	15	0,02	5	0,57	0,87	0,79	0,69	muito bom	0,1**	0,71**	0,63
CC33	B	64	0,10	22	-0,04	-9	0,03	0,81	0,72	0,59	bom	0,06	0,96	0,53
PMP	A	64	0,06	17	0,02	6	0,66	0,89	0,84	0,74	muito bom	0,1**	0,67**	0,70
PMP	B	64	0,12	34	0,02	7	-0,28	0,73	0,59	0,43	sofrível	0,05	0,79	0,35
AD10	A	64	0,04	35	-0,01	-13	-0,68	0,58	0,40	0,23	péssimo	0,07**	0,48**	0,16
AD10	B	64	0,03	29	0,00	0	0,00	0,77	0,63	0,49	mediano	0,02	0,8	0,40
AD33	A	64	0,03	38	-0,01	-12	-1,05	0,54	0,37	0,20	péssimo	0,05**	0,52**	0,14
AD33	B	64	0,03	29	-0,01	-7	-0,18	0,70	0,52	0,36	sofrível	0,04**	0,6**	0,27
Validação: banco de validação, horizontes B														
CC10	A+B	37	0,07	14	0,01	2	0,54	0,84	0,75	0,63	bom	0,19**	0,57**	0,56
CC33	A+B	37	0,06	14	0,01	1	0,60	0,87	0,78	0,68	muito bom	0,14**	0,67**	0,61
PMP	A+B	37	0,07	22	0,02	7	0,32	0,79	0,65	0,52	mediano	0,12**	0,56**	0,42
AD10	A+B	37	0,03	26	-0,02	0	-0,60	0,70	0,57	0,40	sofrível	0,06*	0,73	0,32
AD33	A+B	37	0,02	24	-0,01	-14	-0,46	0,68	0,51	0,34	sofrível	0,06**	0,57*	0,26
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A	37	0,07	14	0,00	1	0,57	0,86	0,76	0,66	muito bom	0,15**	0,67**	0,58
CC10	B	37	0,12	25	-0,08	-18	-1,07	0,72	0,73	0,52	bom	-0,02	1,22	0,53
CC33	A	37	0,06	15	0,01	1	0,56	0,86	0,76	0,66	muito bom	0,14**	0,67**	0,58
CC33	B	37	0,11	26	-0,07	-17	-0,91	0,73	0,73	0,53	bom	-0,01	1,19	0,53
PMP	A	37	0,05	16	0,00	1	0,69	0,90	0,83	0,75	muito bom	0,09**	0,72**	0,69
PMP	B	37	0,13	40	0,04	11	-1,19	0,57	0,39	0,22	péssimo	0,1	0,58	0,15
AD10	A	37	0,05	35	-0,02	-18	-1,67	0,49	0,23	0,11	péssimo	0,11**	0,31**	0,05
AD10	B	37	0,04	32	0,00	-1	-0,72	0,70	0,57	0,40	sofrível	0,01	0,91	0,32
AD33	A	37	0,04	38	-0,02	-19	-2,54	0,45	0,24	0,11	péssimo	0,08**	0,38*	0,06
AD33	B	37	0,07	14	0,01	2	0,54	0,84	0,75	0,63	bom	0,19**	0,57**	0,56
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A+B	27	0,05	11	0,00	-1	0,82	0,94	0,91	0,86	ótimo	0,12**	0,76**	0,82
CC33	A+B	27	0,05	12	0,00	-1	0,80	0,94	0,90	0,85	ótimo	0,09*	0,81*	0,80
PMP	A+B	27	0,05	14	-0,01	-1	0,81	0,94	0,90	0,85	ótimo	0,09**	0,77**	0,81
AD10	A+B	27	0,02	23	0,00	-1	0,14	0,57	0,39	0,22	péssimo	0,08**	0,18**	0,15
AD33	A+B	27	0,02	26	0,00	-4	0,09	0,37	0,34	0,12	péssimo	0,07**	0,09**	0,11
Validação: banco de validação, horizontes B/C														
CC10	A	27	0,06	12	0,04	8	0,68	0,91	0,88	0,81	ótimo	0,04	0,84	0,78
CC10	B	27	0,06	12	0,00	-1	0,77	0,94	0,89	0,84	ótimo	0,06	0,89	0,79
CC33	A	27	0,06	13	0,04	10	0,63	0,90	0,87	0,78	ótimo	0,05	0,79*	0,76
CC33	B	27	0,06	14	0,00	-1	0,74	0,93	0,87	0,81	ótimo	0,06	0,87	0,76
PMP	A	27	0,06	16	0,04	11	0,64	0,88	0,88	0,77	ótimo	0,08*	0,68**	0,77
PMP	B	27	0,05	13	-0,01	-1	0,83	0,96	0,92	0,88	ótimo	0,04	0,92	0,84
AD10	A	27	0,02	23	-0,01	-8	0,00	0,41	0,31	0,13	péssimo	0,09**	0,09**	0,09
AD10	B	27	0,02	19	0,00	-1	0,39	0,73	0,62	0,46	mediano	0,06**	0,38**	0,39
AD33	A	27	0,02	26	0,00	-3	0,07	0,28	0,30	0,08	péssimo	0,07**	0,07**	0,09
AD33	B	27	0,02	25	0,00	-3	0,12	0,60	0,43	0,26	mau	0,05**	0,29**	0,19

⁽¹⁾ Números entre parêntesis para os atributos do solo correspondem a sucção aplicada para a umidade do solo (CC e PMP) e a sucção no limite superior no conteúdo e água disponível (AD); ⁽²⁾ Horizonte utilizado como banco de dados para ajuste da função de pedotransferência. ⁽³⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para o intercepto, um nível > 0,05 indica que o parâmetro “a” da equação da reta não difere de zero. ⁽⁴⁾ Nível de significância do teste F na ANOVA (* e ** significativo a 5 % e 1 %, respectivamente) para a inclinação, um nível de significância > 0,05 indica que o parâmetro “b” da equação da reta não difere de 1.

4.4.1.8 Considerações sobre as FPTs pontuais

A capacidade preditiva das FPTs diferiu para os bancos de dados utilizados, pois observou-se uma melhor capacidade preditiva nos bancos 1, 2 e 3, em comparação aos bancos 4, 5 e 6. Isso já era previsto, pois foram esses dados que deram origem as FPTs. As maiores diferenças ocorreram nos horizontes superficiais do solo, o que provavelmente se deve às amostras de solos que constituíram o banco 5 (validação), as quais foram, em sua maioria, obtidas de estudos que avaliaram os efeitos do manejo sobre os atributos físicos do solo, coletadas em camadas muito próximas da superfície do solo e provenientes apenas de solos do Planalto Serrano de SC (MERTZ *et al.*, 2004; ESPANHOL, 2005; COSTA *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2010; SANTANA *et al.*, 2010) ou de áreas recuperadas após a mineração de carvão (LUNARDI NETO *et al.*, 2008). Esses efeitos resultaram em elevada variabilidade da retenção de água em solos com granulometria semelhante e concentração de dados em poucas classes texturais, o que elevou a parte da variância não explicada pelas FPTs e resultou em piores indicadores estatísticos no banco de validação.

As FPTs geradas com os horizontes agrupados (superficiais e subsuperficiais) não tiveram a mesma capacidade preditiva para a retenção ou disponibilidade de água nos dois horizontes, pois, em alguns modelos, a estimativa da retenção de água foi melhor para os horizontes superficiais e em outros nos subsuperficiais enquanto, a estimativa da disponibilidade de água foi sempre melhor nos horizontes superficiais do solo. Além disso, essas FPTs sempre tiveram pior capacidade preditiva para um dos horizontes do solo em comparação às FPTs geradas por horizonte, e o tipo de horizonte com melhor predição variou conforme o modelo utilizado. O indicador com maior sensibilidade nessas comparações foi o de tendência percentual (PBIAS). Além disso, quando as FPTs geradas de horizonte foram utilizadas para estimar a retenção e a disponibilidade de água em outro horizonte, como, por exemplo, estimar a CC10 dos horizontes subsuperficiais do solo através da FPT gerada dos horizontes superficiais, todos os indicadores estatísticos foram piores do que aqueles obtidos na FPT geradas especificamente para os horizontes subsuperficiais. Isso indica que as FPTs devem ser utilizadas somente em horizontes semelhantes aos que elas foram geradas.

Essas diferenças nos levam a recomendar o uso de FPTs para cada horizonte na estimativa da retenção e disponibilidade de água no solo. O efeito do agrupamento pelo

tipo de horizonte no aumento da capacidade preditiva dos modelos também já foi observado em outros estudos (HALL *et al.*, 1977; WÖSTEN, FINKE e JANSEN, 1995; PACHEPSKY, TIMLIN e VARALLYAY, 1996; WÖSTEN *et al.*, 1999; GIAROLA, SILVA e IMHOFF, 2002)

A estimativa do conteúdo de água disponível (AD10 e AD33), embora tenha melhorado nos modelos 1 ao 7, sempre teve piores indicadores estatísticos em comparação com aqueles observados nas FPTs para retenção água (CC10, CC33 e PMP), ou seja, esse atributo do solo é dependente de outros atributos físicos, químicos e mineralógicos não incluídos nos modelos avaliados.

A divisão da areia total em cinco classes resultou em melhor capacidade preditiva das FPTs. Todavia, essa determinação não é realizada na maioria dos estudos que englobam os atributos físicos do solo, o que dificulta a sua utilização. Nesses casos, se recomenda o uso das FPTs que utilizam a granulometria (areia, silte argila), o teor de MO e suas interações (modelo 4) para a estimativa da retenção de água, e daquelas que utilizam a granulometria, MO, densidade do solo e de partículas, porosidade total e suas interações (modelo 6) para a estimativa da disponibilidade de água.

4.4.2 Funções de pedotransferência contínuas paramétricas

As funções de pedotransferência (FPTs) ajustadas para a estimativa dos parâmetros θ_s , α , θ_r e n da equação de van GENUCHTEN (1980), utilizando como possíveis variáveis preditoras: teores areia, silte, argila e MO, em escala original, transformada ou pelo seu efeito multiplicativo, indicou que o efeito desses atributos sobre a retenção ou disponibilidade de água dos solos não ocorre de forma linear, pois todas as variáveis independentes selecionadas pelo programa estatístico foram aquelas transformadas ou multiplicadas entre si para todas as 8 FPTs geradas no modelo 4 (**Tabela 81**). Esse mesmo efeito ocorreu na seleção das variáveis independentes das FPTs dos modelos 6 e 7. Como foram selecionadas diferentes combinações de variáveis independentes para cada FPT e os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) são correlacionados quanto a seus efeitos na forma da curva de retenção, não foi possível avaliar os efeitos dos atributos físicos do solo utilizados nos modelos 4, 6 e 7 sobre a curva de retenção de água.

A discussão dos resultados para as FPTs paramétricas foi realizada por classe textural dos horizontes do solo, o que possibilitou a sugestão de adoção ou não das FPTs paramétricas para algumas destas classes texturais. O objetivo dos três modelos avaliados foi verificar se a utilização de um maior número de atributos físicos melhora a estimativa da curva de retenção de água no solo. Assim, a comparação dos modelos foi realizada em cada classe textural. Além disso, como a validação das FPTs de classe foi realizada para cada uma das classes texturais, nos horizontes superficiais e subsuperficiais, a discussão dos resultados obtidos também foi realizada separadamente para cada classe textural, o que possibilitou comparar esses dois tipos de FPTs.

4.4.2.1 Validação das FPTs paramétricas dos horizontes superficiais

Nos horizontes superficiais com textura muito argilosa, a capacidade preditiva das FPTs foi boa para os Modelos 4, 6 e 7 (**Tabela 82**, **Tabela 83** e **Tabela 84**), com destaque para as FPTs paramétricas do Modelo 6, que possibilitaram uma melhor estimativa da umidade do solo no banco de dados utilizados somente para validação das FPTs (banco 5). Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 6, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias)

pequena (1 %), o índice de eficiência de 0,76, o índice de concordância de 0,94 e o desempenho muito bom.

Nos horizontes superficiais com textura argilosa, a capacidade preditiva das FPTs foi boa, embora tenha sido um pouco inferior a observada para os horizontes de textura muito argilosa. Em relação aos modelos, as FPTs paramétricas dos Modelo 4 e 6 se destacaram, porque conseguiram uma estimativa melhor da umidade do solo no banco de dados utilizados somente para validação das FPTs. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 6, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de 6 %, o índice de eficiência de 0,43, o índice de concordância de 0,86 e o desempenho bom.

Nos horizontes superficiais com textura argilo siltosa, a capacidade preditiva das FPTs foi boa e parecida com a observada para os horizontes de textura muito argilosa em alguns indicadores estatísticos. Em relação aos Modelos, as FPTs paramétricas do Modelo 6 tiveram melhor estimativa da umidade do solo no banco de dados utilizados somente para validação das FPTs para alguns indicadores mais importantes, como a REQM e o PBIAS. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 6, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de nula (0 %), o índice de eficiência de 0,74, o índice de concordância de 0,93 e o desempenho muito bom.

Nos horizontes superficiais com textura franco argilo siltosa, a capacidade preditiva das FPTs foi boa. Em relação aos Modelos, as FPTs paramétricas do Modelo 4 estimaram melhor a umidade do solo no banco de dados utilizados somente para validação das FPTs, para alguns indicadores mais importantes como a REQM e PBIAS. As FPTs do modelo 7 não foram validadas com o banco 5, devido à ausência de amostras com as 5 classe de areia determinadas, dificultando a comparação dos três modelos. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 4, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de 2 %, o índice de eficiência de 0,56, o índice de concordância de 0,90 e o desempenho foi muito bom.

Nos horizontes superficiais com textura franco argilosa, a capacidade preditiva das FPTs foi boa. Em relação aos Modelos, as FPTs paramétricas do Modelo 4 estimaram melhor a umidade do solo no banco de dados utilizados somente para validação das FPTs para um grande número de amostras. Nas FPTs do modelo 7,

embora tenham bons indicadores, foram validadas apenas com amostras de três horizontes no banco 5, o que dificultou a comparação dos modelos. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 4, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de 4 %, o índice de eficiência de 0,68, o índice de concordância de 0,92 e o desempenho muito bom.

Nos horizontes superficiais com textura franco argilo arenosa, a capacidade preditiva das FPTs foi duvidosa, pois não existiam amostras no banco 5 para serem validadas, o que gera dúvidas quanto à comparação dos três modelos. Como os indicadores estatísticos foram calculados somente para o banco 2, o qual sempre teve melhor capacidade preditiva do que o banco 5, e em função de que as FPTs de classe foram geradas com esse banco, os indicadores estatísticos não foram discutidos para essa classe textural.

Nos horizontes superficiais com textura franco siltosa, a capacidade preditiva das FPTs foi boa, mas também com ressalvas devido ao pequeno número de amostras utilizadas nos dois bancos de dados ($n=7$). Em relação aos modelos, todos eles tiveram indicadores estatísticos muito parecidos, optando-se pelas FPTs do modelo 6, devido ao sua menor REQM em relação ao modelo 4 e a necessidade de menor número de variáveis que o modelo 7. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 6, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de -2 %, o índice de eficiência de 0,86, o índice de concordância de 0,96 e o desempenho foi ótimo.

Tabela 81.FPTs para estimar os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) utilizando 3 diferentes modelos (conjuntos de variáveis independentes) para os horizontes superficiais (A) e subsuperficiais (B/C) dos solos do Estando de Santa Catarina, 2012.

Horizonte	Parâmetros*	Intercepto	parâmetro 1 ⁽¹⁾	parâmetro 2	parâmetro 3	parâmetro 4
Modelo 4: Textura do solo, matéria orgânica e suas interações						
A	$\theta_s =$	0,4466	$0,02595*\sqrt{d}$	$-0,000000000029*b^2*c^2$	$0,0000002976*c^2$	$0,000000334*b^2$
A	$\theta_r =$	-0,4367	$-0,09608*\sqrt{d}$	$0,7639*\ln(d^2)$	$-0,0000038*a*c$	$0,00000000023*a^2*c^2$
A	$\alpha =$	-30,14	$-0,02514*b$	$45,95*1/\sqrt{c}$	$6,178*\ln(b)$	$24,96*1/a$
A	$n =$	1,11	$-0,01756*1000/d^2$	$28,47*1/c$	$-674,2*1/c^2$	$497,6*1/b^2$
B/C	$\theta_s =$	0,3716	$0,3292*1/d$	$0,000013*a*d$	$0,0000000000208*b^2*c^2$	$0,00030593*c$
B/C	$\theta_r =$	0,4808	$0,0186*\sqrt{d}$	$-0,0000051*a*b$	$0,000000000045*a^2*b^2$	$-0,05002*\ln(a)$
B/C	$\alpha =$	2,589	$-0,7598*\ln(1000/d^2)$	$-0,0003091*b*d$	$0,0000000000589*a^2*c^2$	$-67,2*1/b$
B/C	$n =$	1,201	$-3,139*1/d$	$0,0131*1000/d^2$	$436,3*1/b^2$	$2,044*1/a$
Modelo 6: Textura do solo, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações						
A	$\theta_s =$	1,591	$-0,6956*1/\sqrt{g}$	$0,00000428*d^2$	$-0,00253*1/d^2$	$-0,00000142*b*d$
A	$\theta_r =$	0,3465	$-0,1095*g^2$	$-0,0000034*b*d$	$0,00025*c$	$-0,00815*\sqrt{a}$
A	$\alpha =$	-9,28	$-0,2073*1/d^2$	$-0,0313*b$	$1,038*\sqrt{b}$	$0,00000447*a^2$
A	$n =$	1,619	$0,9018*g^2$	$-0,2021*\log(d)$	$171,52*1/b^2$	$1,781*1/a$
B/C	$\theta_s =$	-1,065	$-2,435*e^2$	$0,4703*1/\sqrt{f}$	$-16,17*\log(\sqrt{g})$	$0,00242*\sqrt{c}$
B/C	$\theta_r =$	0,1284	$-2,435*e^2$	$0,000000000008*a^2*c^2$	$0,00000056*c^2$	$-30,02*1/a^2$
B/C	$\alpha =$	-3,906	$4,251*e$	$-0,000000000049*b^2*c^2$	$-0,00000547*a^2$	$145,51*1/a^2$
B/C	$n =$	0,7966	$0,2486*1/e^2$	$-0,0000146*a*d$	$5,34*1/\sqrt{c}$	$-0,00000059*b^2$
Modelo 7: Cinco classes de areia, silte, argila, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações						
A	$\theta_s =$	1,595	$-0,699*1/\sqrt{g}$	$0,00000427*d^2$	$-0,00267*1/d^2$	$-0,00000142*b*d$
A	$\theta_r =$	1,325	$-3,809*1/k^2$	$-0,8634*1/\sqrt{j}$	$-0,0000023*b*d$	$0,3363*\ln(1/\sqrt{a})$
A	$\alpha =$	3,927	$0,0000153*c*f$	$0,00964*f*i$	$-4,439*g^2$	$-0,892*\log(a)$
A	$n =$	1,125	$0,0000039*j^2$	$1,052*g^2$	$-0,04434*\sqrt{d}$	$268,1*1/b^2$
B/C	$\theta_s =$	0,8657	$-0,000000496*a*j$	$-0,00000129*b*l$	$0,5641*1/f^2$	$-0,15824*1/g$
B/C	$\theta_r =$	0,1325	$0,00002099*l^2$	$-0,0008374*f*l$	$-0,0001988*d^2$	$0,0000202*b*d$
B/C	$\alpha =$	-0,3323	$0,000065*a*h$	$-0,0001776*b*h$	$0,00001105*a*c$	$-0,00000331*a^2$
B/C	$n =$	1,272	$0,00017*l^2$	$0,0004216*d*l$	$-0,0405*g*l$	$534,7*1/b^2$

⁽¹⁾ a: teor de areia (kg kg⁻¹); b: teor de silte (kg kg⁻¹); c: teor de argila (kg kg⁻¹); d: teor de matéria orgânica (g kg⁻¹); e: densidade do solo (g cm⁻³); f: densidade do partículas (g cm⁻³); g: porosidade total (cm³ cm⁻³); obtida pela equação: $g = 1 - (e/2,65)$; h: teor de areia muito grossa (kg kg⁻¹); i: teor de areia grossa (kg kg⁻¹); j: teor de areia média (kg kg⁻¹); k: teor de areia fina (kg kg⁻¹); l: teor de areia muito fina (kg kg⁻¹).

Tabela 82. Número de amostras (N), raiz do erro quadrático médio (REQM), raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), tendência percentual (Pbias), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2), para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de **pedotransferência paramétricas** do **Modelo 4 (Textura do solo, matéria orgânica e suas interações)**, utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Classe Textural	Banco de dados	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a	b	R^2
	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Horizontes superficiais do solo														
Muito argiloso	2	207	0,06	0,13	-0,01	-1,4	0,71	0,92	0,85	0,78	muito bom	0,12	0,77	0,72
Muito argiloso	5	72	0,07	0,16	0,00	-0,8	0,52	0,87	0,77	0,67	bom	0,10	0,80	0,59
Argila	2	90	0,07	0,14	0,04	8,1	0,58	0,89	0,85	0,76	bom	0,05	0,81	0,73
Argila	5	169	0,09	0,19	0,05	10,5	0,30	0,84	0,72	0,61	sofrível	0,04	0,80	0,52
Argila siltosa	2	36	0,08	0,16	0,06	12,1	0,59	0,90	0,91	0,82	muito bom	0,01	0,87	0,83
Argila siltosa	5	40	0,05	0,10	0,00	-1,0	0,73	0,93	0,87	0,81	muito bom	0,05	0,89	0,76
Franco argilo siltoso	2	18	0,04	0,07	-0,02	-4,8	0,84	0,96	0,96	0,92	ótimo	0,02	1,02	0,92
Franco argilo siltoso	5	31	0,08	0,17	0,04	7,9	0,28	0,85	0,78	0,66	mediano	0,00	0,91	0,60
Franco argiloso	2	63	0,05	0,12	0,01	1,6	0,85	0,96	0,92	0,88	ótimo	0,07	0,82	0,85
Franco argiloso	5	213	0,08	0,17	0,03	7,3	0,52	0,88	0,81	0,71	bom	0,04	0,84	0,66
Franco argilo arenoso	2	18	0,02	0,05	-0,01	-2,7	0,94	0,99	0,98	0,97	ótimo	-0,01	1,05	0,96
Franco siltoso	2	27	0,04	0,10	0,00	-0,8	0,88	0,97	0,94	0,91	ótimo	0,03	0,94	0,89
Franco siltoso	5	23	0,06	0,14	-0,01	-3,5	0,77	0,94	0,90	0,85	muito bom	0,03	0,96	0,82
Franco	2	36	0,07	0,19	0,02	4,3	0,66	0,92	0,86	0,79	muito bom	0,01	0,94	0,74
Franco	5	54	0,06	0,17	0,02	4,2	0,60	0,92	0,89	0,82	muito bom	-0,08	1,16	0,80
Franco arenoso	2	63	0,05	0,17	0,00	-1,5	0,89	0,97	0,94	0,91	ótimo	0,04	0,88	0,89
Franco arenoso	5	23	0,08	0,23	0,04	13,7	0,76	0,93	0,92	0,86	muito bom	0,01	0,82	0,85
Areia	2	36	0,10	0,46	-0,04	-21,3	0,67	0,91	0,87	0,79	muito bom	0,08	0,85	0,75
Areia	5	8	0,12	0,74	0,03	23,4	0,41	0,89	0,86	0,76	muito bom	-0,06	1,17	0,73

Continua ...

Continuação ...

Classe Textural	Banco de dados	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a	b	R ²
	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Horizontes subsuperficiais do solo														
Muito argiloso	3	387	0,05	0,10	0,02	3,7	0,56	0,89	0,82	0,73	bom	0,05	0,87	0,68
Muito argiloso	6	134	0,06	0,13	0,02	3,4	0,39	0,86	0,76	0,65	mediano	0,05	0,87	0,58
Argila	3	179	0,08	0,16	0,02	3,5	0,40	0,82	0,65	0,53	sofrível	0,18	0,60	0,42
Argila	6	111	0,09	0,17	0,04	8,8	-0,18	0,78	0,71	0,56	sofrível	-0,02	0,94	0,51
Argila siltosa	3	9	0,02	0,04	0,01	1,3	0,92	0,98	0,98	0,96	ótimo	-0,06	1,09	0,95
Franco argiloso	3	54	0,08	0,20	-0,06	-15,6	0,03	0,75	0,79	0,59	sofrível	0,24	0,57	0,62
Franco argiloso	6	107	0,08	0,17	-0,02	-4,8	-0,10	0,67	0,47	0,32	péssimo	0,27	0,45	0,22
Franco argilo arenoso	3	45	0,15	0,38	0,00	0,5	-0,39	0,63	0,37	0,24	péssimo	0,23	0,41	0,14
Franco argilo arenoso	6	30	0,11	0,30	-0,05	-13,2	-0,08	0,68	0,49	0,33	péssimo	0,27	0,41	0,24
Franco siltoso	6	7	0,07	0,17	-0,06	-16,5	-1,59	0,61	0,96	0,58	sofrível	0,26	0,57	0,91
Franco	3	9	0,12	0,31	-0,08	-23,7	0,00	0,67	0,98	0,66	mediano	0,35	0,35	0,96
Franco	6	14	0,10	0,20	-0,02	-3,6	0,09	0,30	0,82	0,25	péssimo	0,50	0,06	0,68
Franco arenoso	3	18	0,13	0,50	-0,11	-44,2	-0,05	0,75	0,90	0,67	bom	0,21	0,63	0,81
Areia franca	3	9	0,04	0,19	0,03	12,4	0,88	0,97	0,99	0,96	ótimo	-0,07	1,18	0,97
Areia	3	36	0,05	0,23	0,02	9,5	0,89	0,97	0,95	0,92	ótimo	-0,01	0,95	0,91
Areia	6	16	0,04	0,24	-0,01	-9,4	0,92	0,98	0,97	0,95	ótimo	0,02	0,98	0,93

Tabela 83. Número de amostras (N), raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), tendência percentual (Pbias), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas nas **FPTs paramétricas** no **Modelo 6 (Textura do solo, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações)**, utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Classe Textural	Banco de dados	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a	b	R^2
	-		cm ³ cm ⁻³		cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Horizontes superficiais do solo														
Muito argiloso	2	207	0,04	0,09	0,01	1,2	0,86	0,96	0,93	0,89	ótimo	0,05	0,87	0,86
Muito argiloso	5	72	0,06	0,14	0,00	0,0	0,66	0,91	0,84	0,77	muito bom	0,05	0,88	0,71
Argila	2	90	0,04	0,09	0,03	6,6	0,85	0,96	0,97	0,94	ótimo	-0,04	1,02	0,94
Argila	5	171	0,10	0,20	0,03	6,4	0,01	0,75	0,59	0,45	mau	0,14	0,65	0,35
Argila siltosa	2	36	0,06	0,12	0,02	3,8	0,78	0,94	0,90	0,85	muito bom	0,03	0,90	0,81
Argila siltosa	5	40	0,05	0,11	-0,02	-4,2	0,69	0,93	0,88	0,82	muito bom	0,04	0,95	0,77
Franco argilo siltoso	2	18	0,03	0,06	-0,01	-1,2	0,90	0,98	0,96	0,94	ótimo	-0,04	1,09	0,93
Franco argilo siltoso	5	31	0,10	0,21	-0,01	-1,5	-0,17	0,75	0,55	0,41	péssimo	0,16	0,67	0,30
Franco argiloso	2	63	0,05	0,11	0,01	1,5	0,87	0,96	0,93	0,90	ótimo	0,05	0,88	0,87
Franco argiloso	5	213	0,13	0,29	-0,03	-6,3	-0,38	0,70	0,47	0,33	péssimo	0,22	0,57	0,22
Franco argilo arenoso	2	18	0,03	0,08	0,00	-0,9	0,84	0,96	0,93	0,89	ótimo	0,00	1,01	0,86
Franco siltoso	2	27	0,03	0,08	0,00	-1,1	0,94	0,99	0,97	0,96	ótimo	-0,01	1,03	0,95
Franco siltoso	5	23	0,06	0,13	-0,01	-2,7	0,79	0,94	0,89	0,84	muito bom	0,07	0,86	0,80
Franco	2	36	0,05	0,15	0,01	3,8	0,79	0,95	0,91	0,86	ótimo	0,00	0,95	0,83
Franco	5	54	0,07	0,17	-0,02	-5,9	0,58	0,90	0,84	0,75	bom	0,05	0,92	0,70
Franco arenoso	2	63	0,05	0,18	-0,01	-2,4	0,88	0,97	0,94	0,91	ótimo	0,04	0,87	0,88
Franco arenoso	5	23	0,06	0,19	0,02	7,3	0,84	0,95	0,93	0,89	ótimo	0,03	0,84	0,86
Areia	2	36	0,03	0,14	0,01	3,1	0,97	0,99	0,98	0,98	ótimo	-0,01	0,99	0,97
Areia	5	8	0,20	1,31	-0,14	-98,9	-0,84	0,65	0,66	0,43	mau	0,19	0,76	0,44

Continua...

...

Continuação...

Classe Textural	Banco de dados	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a	b	R ²
	-		cm ³ cm ⁻³		cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Horizontes subsuperficiais do solo														
Muito argiloso	3	387	0,05	0,09	0,01	1,3	0,67	0,91	0,84	0,77	muito bom	0,08	0,83	0,70
Muito argiloso	6	134	0,05	0,10	-0,02	-3,6	0,61	0,87	0,81	0,71	bom	0,19	0,64	0,66
Argila	3	179	0,06	0,12	0,02	3,4	0,67	0,90	0,81	0,73	bom	0,13	0,71	0,66
Argila	6	111	0,07	0,15	0,01	1,4	0,12	0,71	0,49	0,35	péssimo	0,29	0,40	0,24
Argila siltosa	3	9	0,06	0,12	0,04	8,7	0,21	0,89	0,99	0,87	ótimo	-0,33	1,53	0,97
Franco argiloso	3	54	0,03	0,08	-0,03	-6,5	0,83	0,96	0,97	0,93	ótimo	0,05	0,95	0,94
Franco argiloso	6	107	0,08	0,18	-0,03	-5,7	-0,27	0,70	0,51	0,35	péssimo	0,22	0,57	0,26
Franco argilo arenoso	3	45	0,06	0,14	0,00	0,9	0,82	0,96	0,94	0,90	ótimo	-0,05	1,11	0,88
Franco argilo arenoso	6	30	0,12	0,32	-0,07	-19,7	-0,20	0,78	0,77	0,60	sofrível	0,05	1,05	0,60
Franco siltoso	6	7	0,06	0,14	-0,04	-11,6	-0,62	0,63	0,92	0,58	sofrível	0,33	0,35	0,85
Franco	3	9	0,07	0,17	-0,05	-13,7	0,70	0,91	0,99	0,89	ótimo	0,17	0,69	0,98
Franco	6	14	0,22	0,43	0,19	38,5	-3,23	0,50	0,59	0,30	péssimo	0,02	0,58	0,35
Franco arenoso	3	18	0,08	0,30	-0,05	-21,5	0,63	0,90	0,91	0,82	muito bom	0,11	0,81	0,82
Areia franca	3	9	0,03	0,12	0,02	8,3	0,95	0,99	0,99	0,98	ótimo	-0,04	1,07	0,98
Areia	3	36	0,05	0,20	0,01	5,1	0,91	0,98	0,96	0,94	ótimo	0,00	0,95	0,92
Areia	6	16	0,02	0,13	-0,01	-6,2	0,98	0,99	0,99	0,99	ótimo	0,02	0,94	0,98

Tabela 84. Banco utilizado para a validação, número de amostras (N), raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), tendência percentual (Pbias), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R²) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas nas **FPTs paramétricas no Modelo 7 (cinco classe de areia, silte, argila, matéria orgânica, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e suas interações)**, utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Classe Textural	Banco de dados	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a	b	R ²
	-		cm ³ cm ⁻³		cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Horizontes superficiais do solo														
Muito argiloso	2	207	0,04	0,09	0,00	-0,2	0,87	0,96	0,93	0,90	ótimo	0,06	0,87	0,87
Muito argiloso	5	72	0,09	0,21	-0,01	-3,0	0,25	0,83	0,72	0,60	sofrível	0,07	0,88	0,52
Argila	2	90	0,04	0,08	0,03	6,3	0,86	0,97	0,97	0,94	ótimo	-0,06	1,05	0,95
Argila	5	112	0,15	0,31	0,08	16,9	-1,64	0,63	0,57	0,36	péssimo	-0,05	0,94	0,32
Argila siltosa	2	36	0,05	0,11	0,02	4,0	0,80	0,95	0,91	0,86	ótimo	0,05	0,86	0,83
Argila siltosa	5	32	0,13	0,30	0,08	18,3	0,96	0,99	0,78	0,77	muito bom	-0,26	1,41	0,60
Franco argilo siltoso	2	18	0,13	0,25	0,09	19,1	-0,83	0,76	0,86	0,66	bom	-0,29	1,37	0,75
Franco argiloso	2	63	0,05	0,11	0,02	4,0	0,86	0,96	0,94	0,91	ótimo	0,01	0,94	0,88
Franco argiloso	5	24	0,06	0,15	0,05	12,8	0,62	0,93	0,97	0,89	ótimo	-0,12	1,16	0,93
Franco argilo arenoso	2	18	0,06	0,16	0,05	14,0	0,45	0,90	0,98	0,89	ótimo	-0,15	1,24	0,97
Franco siltoso	2	27	0,03	0,07	-0,01	-1,4	0,95	0,99	0,98	0,96	ótimo	0,02	0,95	0,95
Franco siltoso	5	16	0,06	0,15	0,00	1,3	0,78	0,94	0,89	0,83	muito bom	0,06	0,84	0,79
Franco	2	36	0,06	0,18	0,00	-1,1	0,70	0,92	0,85	0,78	muito bom	0,05	0,86	0,73
Franco	5	16	0,04	0,12	-0,02	-7,1	0,78	0,93	0,94	0,87	ótimo	0,12	0,73	0,88
Franco arenoso	2	63	0,03	0,11	-0,01	-2,3	0,95	0,99	0,98	0,97	ótimo	0,03	0,93	0,96
Franco arenoso	5	16	0,02	0,07	-0,01	-2,0	0,98	1,00	0,99	0,99	ótimo	0,02	0,96	0,99
Areia	2	36	0,02	0,11	0,00	1,3	0,98	0,99	0,99	0,98	ótimo	0,00	0,98	0,98
Areia	5	8	0,04	0,24	-0,02	-18,0	0,94	0,98	0,99	0,98	ótimo	0,05	0,86	0,99

Continua ...

Continuação...

Classe Textural	Banco de dados	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a	b	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³		cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Horizontes subsuperficiais do solo														
Muito argiloso	3	387	0,20	0,39	-0,04	-8,4	-5,33	0,42	0,34	0,14	péssimo	0,10	0,89	0,12
Muito argiloso	6	120	0,24	0,49	-0,10	-20,2	-6,95	0,32	0,11	0,04	péssimo	0,46	0,28	0,01
Argila	3	179	0,37	0,73	-0,14	-27,7	-11,86	0,27	0,09	0,02	péssimo	0,48	0,31	0,01
Argila	6	48	0,80	1,61	-0,29	-60,3	-61,46	0,17	0,40	0,07	péssimo	-0,74	3,10	0,16
Argila siltosa	3	9	0,12	0,23	0,09	19,6	-2,00	0,71	0,97	0,69	bom	-0,51	1,75	0,95
Franco argiloso	3	54	0,36	0,87	-0,08	-19,8	0,96	0,99	-0,02	-0,02	péssimo	0,53	-0,10	0,00
Franco argiloso	6	16	0,08	0,19	0,06	14,4	-0,20	0,77	0,78	0,60	sofrível	-0,01	0,87	0,61
Franco argilo arenoso	3	45	0,27	0,67	-0,12	-30,2	-3,29	0,27	-0,24	-0,07	péssimo	0,65	-0,32	0,06
Franco argilo arenoso	6	16	0,18	0,58	-0,14	-49,4	-1,56	0,63	0,75	0,47	mau	0,17	0,93	0,56
Franco	3	9	0,25	0,65	-0,20	-56,5	-3,22	0,40	0,60	0,24	péssimo	0,61	0,01	0,36
Franco arenoso	3	18	0,05	0,17	0,03	12,1	0,87	0,97	0,97	0,93	ótimo	-0,01	0,92	0,94
Areia franca	3	9	0,04	0,19	0,03	12,8	0,88	0,97	0,98	0,95	ótimo	-0,05	1,11	0,96
Areia	3	36	0,04	0,17	0,00	0,7	0,94	0,98	0,97	0,95	ótimo	0,00	0,98	0,94
Areia	6	16	0,03	0,18	-0,01	-9,2	0,95	0,99	0,98	0,97	ótimo	0,03	0,94	0,97

Nos horizontes superficiais com textura franca, a capacidade preditiva das FPTs foi boa. Em relação aos modelos, todos eles tiveram indicadores estatísticos muito parecidos, optando-se pelas FPTs do modelo 6, devido a seu menor REQM em relação ao modelo 4, e ao maior número de amostras utilizadas no bancos de dados 5 em relação a FPTs do modelo 7. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 6, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de -1 %, o índice de eficiência de 0,69, o índice de concordância de 0,92 e o desempenho muito bom.

Nos horizontes superficiais com textura franca arenosa, a capacidade preditiva das FPTs foi muito boa. Em relação aos modelos, todos eles tiveram indicadores estatísticos muito parecidos, optando-se pelas FPTs do modelo 7, devido a seu menor RQME em relação aos demais modelos. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 7, a raiz do erro quadrático médio foi de apenas $0,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de -2 %, o índice de eficiência de 0,97, o índice de concordância de 0,99 e o desempenho foi ótimo.

Nos horizontes superficiais com textura arenosa, a capacidade preditiva das FPTs foi boa apenas para alguns modelos e os indicadores estatísticos das FPTs do modelo 7 foram superiores aos demais modelos, principalmente devido a seu menor RQME. No entanto, destaca-se que o número de horizontes utilizados para gerar/validar essas FPTs paramétricas foi pequeno. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 7, a raiz do erro quadrático médio foi de apenas $0,03 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de -8 %, o índice de eficiência de 0,96, o índice de concordância de 0,99 e o desempenho foi ótimo.

4.4.2.2 Validação das FPTs paramétricas dos horizontes subsuperficiais

Nos horizontes subsuperficiais com textura muito argilosa, a capacidade preditiva das FPTs foi boa para os Modelos 4 e 6, com destaque para as FPTs paramétricas do Modelo 6 que possibilitaram uma estimativa melhor da umidade do solo no banco de dados utilizados somente para validação das FPTs (banco 6). Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 6, a raiz do erro quadrático

médio foi de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) foi pequena (-1 %), o índice de eficiência de 0,64, o índice de concordância de 0,89 e o desempenho foi bom.

Nos horizontes subsuperficiais com textura argilosa, a capacidade preditiva das FPTs foi razoável para os Modelos 4 e 6, com destaque para as FPTs paramétricas do Modelo 6, que possibilitaram uma estimativa melhor da umidade do solo no banco de dados utilizados somente para validação das FPTs. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 6, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) foi pequena (2 %), o índice de eficiência de 0,40, o índice de concordância de 0,81 e o desempenho foi sofrível.

Nos horizontes subsuperficiais com textura argiloso siltosa, franco arenosa e areia franca, a capacidade preditiva das FPTs foi duvidosa, pois não existiam amostras no banco 6 para serem validadas, o que geraria dúvidas quanto a comparação dos três modelos. Como os indicadores estatísticos foram calculados somente para o banco 3, o qual sempre teve melhor capacidade preditiva do que o banco 6, em função de que, as FPTs de classe foram geradas com esse banco, os indicadores estatísticos não serão discutidos para essas classes texturais.

Nos horizontes subsuperficiais com textura Franco Argilosa, a capacidade preditiva das FPTs foi razoável apenas para o modelo 6, as quais possibilitaram uma estimativa melhor da umidade do solo no banco de dados utilizados somente para validação das FPTs. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 6, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de -6%, o índice de eficiência de 0,28, o índice de concordância de 0,83 e o desempenho foi mediano.

Nos horizontes subsuperficiais com textura franco argiloso arenosa, a capacidade preditiva das FPTs foi razoável apenas para o modelo 6, as quais estimaram melhor a umidade do solo nos dois banco de dados utilizados para validação das FPTs. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 6, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de -9%, o índice de eficiência de 0,31, o índice de concordância de 0,87 e o desempenho foi bom.

Nos horizontes subsuperficiais com textura argiloso siltosa, a capacidade preditiva das FPTs foi duvidosa, pois não existiam amostras no banco 3 para serem validadas, o que gera dúvidas quanto a comparação dos três modelos. Como os indicadores estatísticos foram calculados somente para o banco 6, o qual sempre teve

pior capacidade preditiva do que o banco 3, em função que, as FPTs de classe foram geradas com esse banco, os indicadores estatísticos não serão discutidos para essa classe de solo.

Nos horizontes subsuperficiais com textura franca, a capacidade preditiva das FPTs foi ruim para os três modelos, o que pode estar relacionado com o pequeno número de amostras nos dois bancos de dados ($n=3$), as quais possibilitaram uma estimativa melhor da umidade do solo nos dois banco de dados utilizados para validação das FPTs. Na média dos dois bancos, para as FPTs paramétricas do modelo 4, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,11 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de -14 %, o índice de eficiência de 0,04, o índice de concordância de 0,49 e o desempenho foi mau.

Nos horizontes subsuperficiais com textura areia, a capacidade preditiva das FPTs foi boa para os três modelos. Na média dos dois bancos para as FPTs paramétricas do modelo 6, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,03 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de -1 %, o índice de eficiência de 0,95, o índice de concordância de 0,99 e o desempenho foi ótimo.

4.4.2.3 Algumas considerações sobre as FPTs paramétricas

A capacidade preditiva das FPTs paramétricas foi melhor para os horizontes superficiais do solo, assim como observado nas FPTs de classe. a avaliação das FPTs por classes textural e horizonte das FPTs paramétricas, mostrou que a estimativa da curva de retenção de água nos horizontes superficiais foi adequada para as classes texturais: muito argilosa, argilosa, argilo siltosa, franco argilo siltosa, franco argilosa, franco siltosa, franco, franco arenosa e areia, com uma raiz do erro quadrático médio entre $0,02$ a $0,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Por outro lado, nos horizontes subsuperficiais, a estimativa da curva de retenção foi adequada apenas para os horizontes da classe muito argilosa e areia, para as demais classes texturais, a capacidade preditiva foi baixa.

Quando os indicadores estatísticos obtidos na FPTs em cada classe textural foram comparados com a média dos indicadores das FPTs pontuais para a CC10, CC33 e PMP na média dos bancos 2 e 5 nos horizontes superficiais e 3 e 6 nos horizontes superficiais, observou-se que os indicadores das FPTs de classe com melhor predição (classes mencionadas no parágrafo anterior) foram muito parecidos ou superiores aos indicadores médios das FPTs pontuais. Em relação aos indicadores das FPTs de classe,

esses foram iguais ou inferiores aos obtidos nas FPTs paramétricas, ou seja, as FPTs paramétricas conseguiram estimar melhor a curva de retenção de água do solo.

4.4.3 Funções de pedotransferência de classe

As 20 curvas de retenção das FPTs de classes geradas para os horizontes superficiais e subsuperficiais de mesma classe textural se encontram listadas na **Tabela 85**. Ao se comparar os parâmetros da equação de van GENUCHTEN para as classes texturais dos horizontes superficiais e subsuperficiais do solo, observou-se que o parâmetro θ_s foi maior em solos mais argilosos e/ou siltosos, em comparação aos solos arenosos; o parâmetro θ_r também teve a mesma tendência; o parâmetro α foi menor e os parâmetros m e n foram maiores nos solos de classe textural arenosa. Embora algumas classes de solo possuam curvas de retenção com parâmetros parecidos, nenhuma das curvas de retenção teve dois ou mais parâmetros iguais. Isso indica a necessidade de geração de FPTs para cada uma das classes texturais do solo, ou seja, solos de classes texturais diferentes não devem ser agrupados em uma única FPT de classe.

4.4.3.1 Validação das FPTs de classe dos horizontes superficiais

Como a validação das FPTs de classe foi realizada para cada uma das classes texturais nos horizontes superficiais e subsuperficiais, a discussão dos resultados obtidos também foram realizados para cada classe textural. Nos horizontes superficiais com textura muito argilosa, a capacidade preditiva das FPTs foi boa, pois os dois bancos utilizados para validação das FPTs (bancos 2 e 5) tiveram indicadores estatísticos semelhantes, e na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (P_{bias}) foi pequena (1%), o índice de eficiência foi de 0,60; o índice de concordância foi de 0,86 e o desempenho foi bom (**Tabela 86**).

Nos horizontes superficiais com textura argilosa, a capacidade preditiva das FPTs foi razoável, e um pouco inferior em relação a classe muito argilosa, devido à maior diferença na capacidade preditiva dessa FPTs entre os dois bancos de dados utilizados para sua validação, pois no banco 5 teve piores indicadores estatísticos. Porém, na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$;

a tendência percentual (Pbias) foi de 4%, o índice de eficiência de 0,29, o índice de concordância de 0,69, e o desempenho péssimo.

Nos horizontes superficiais com textura argiloso siltosa, a capacidade preditiva das FPTs foi boa e melhor que nas duas classes anteriores. Na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) pequena (4%), o índice de eficiência de 0,50, o índice de concordância de 0,86, e o desempenho bom.

Tabela 85. Parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) para as FPTs de classe em solos de Santa Catarina, 2012.

Classe	Horizonte	Parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980)
Muito Argiloso	Superficial	$\theta=0,38+\{(0,69-0,38)/[(1+(0,213*\text{hPa})^{1,4519})^{0,3112}]\}$
	Subsuperficial	$\theta=0,38+\{(0,67-0,38)/[(1+(0,794*\text{hPa})^{1,1624})^{0,1397}]\}$
Argila	Superficial	$\theta=0,37+\{(0,68-0,37)/[(1+(0,238*\text{hPa})^{1,3207})^{0,2428}]\}$
	Subsuperficial	$\theta=0+\{(0,65-0)/[(1+(2,068*\text{hPa})^{1,0419})^{0,0402}]\}$
Argilo Siltoso	Superficial	$\theta=0+\{(0,71-0)/[(1+(0,449*\text{hPa})^{1,073})^{0,068}]\}$
	Subsuperficial	$\theta=0,2+\{(0,66-0,2)/[(1+(0,292*\text{hPa})^{1,0769})^{0,0714}]\}$
Franco Argilo Siltoso	Superficial	$\theta=0,3+\{(0,69-0,3)/[(1+(0,205*\text{hPa})^{1,163})^{0,1402}]\}$
Franco Argiloso	Superficial	$\theta=0,29+\{(0,67-0,29)/[(1+(0,187*\text{hPa})^{1,3477})^{0,258}]\}$
	Subsuperficial	$\theta=0,22+\{(0,58-0,22)/[(1+(0,812*\text{hPa})^{1,1266})^{0,1124}]\}$
Franco Argilo Arenoso	Superficial	$\theta=0,23+\{(0,60-0,23)/[(1+(1,609*\text{hPa})^{1,1459})^{0,1273}]\}$
	Subsuperficial	$\theta=0+\{(0,60-0)/[(1+(3,307*\text{hPa})^{1,0616})^{0,058}]\}$
Franco Siltoso	Superficial	$\theta=0,27+\{(0,66-0,27)/[(1+(0,312*\text{hPa})^{1,3186})^{0,2416}]\}$
Franco	Superficial	$\theta=0,25+\{(0,57-0,25)/[(1+(0,187*\text{hPa})^{1,362})^{0,2658}]\}$
	Subsuperficial	$\theta=0,23+\{(0,65-0,23)/[(1+(0,258*\text{hPa})^{1,2821})^{0,22}]\}$
Franco Arenoso	Superficial	$\theta=0,13+\{(0,57-0,13)/[(1+(0,387*\text{hPa})^{1,3308})^{0,2486}]\}$
	Subsuperficial	$\theta=0,15+\{(0,57-0,15)/[(1+(0,367*\text{hPa})^{1,4121})^{0,2918}]\}$
Areia Franca	Subsuperficial	$\theta=0,08+\{(0,49-0,08)/[(1+(0,128*\text{hPa})^{1,3709})^{0,2706}]\}$
Areia	Subsuperficial	$\theta=0,09+\{(0,55-0,09)/[(1+(0,08*\text{hPa})^{1,898})^{0,4731}]\}$
	Subsuperficial	$\theta=0,10+\{(0,54-0,10)/[(1+(0,08*\text{hPa})^{1,7119})^{0,4159}]\}$
Orgânico	Subsuperficial	$\theta=0+\{(0,86-0)/[(1+(0,244*\text{hPa})^{1,0642})^{0,0603}]\}$

Tabela 86. Número de amostras (N), Raiz do erro quadrático médio (REQM), Raiz do erro quadrático médio relativo (RREQM), erro médio (EM), índice de eficiência (EF), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), índice de confiança (c), desempenho, intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R²) para as equações ajustadas entre a umidade medida e a estimada por diferentes funções de pedotransferência obtidas nas **FPTs de classe** utilizando diferentes bancos de validação constituídos por solos do Estado de Santa Catarina, 2012.

Classe Textural	Banco de dados	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a	b	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Horizontes superficiais do solo														
Muito Argiloso	2	184	0,05	0,12	0,00	0,6	0,60	0,86	0,78	0,67	bom	0,18	0,58	0,61
Muito Argiloso	5	70	0,06	0,13	0,01	1,5	0,60	0,84	0,79	0,67	bom	0,21	0,51	0,63
Argila	2	80	0,06	0,12	0,00	0,5	0,57	0,84	0,75	0,63	mediano	0,21	0,54	0,57
Argila	5	151	0,07	0,16	0,03	5,7	0,24	0,67	0,59	0,39	péssimo	0,29	0,31	0,35
Argila Siltosa	2	32	0,07	0,14	0,00	0,0	0,59	0,86	0,77	0,66	mediano	0,19	0,60	0,59
Argila Siltosa	5	37	0,05	0,12	-0,04	-8,9	0,42	0,87	0,88	0,77	muito bom	0,06	0,95	0,78
Franco Argilo Siltoso	2	16	0,02	0,05	0,00	0,2	0,90	0,97	0,95	0,92	ótimo	0,05	0,90	0,90
Franco Argilo Siltoso	5	27	0,05	0,11	-0,04	-9,8	0,34	0,84	0,91	0,76	muito bom	0,12	0,83	0,83
Franco Argiloso	2	56	0,05	0,13	0,01	1,6	0,92	0,98	0,85	0,84	muito bom	0,12	0,68	0,73
Franco Argiloso	5	209	0,07	0,17	0,04	9,9	0,19	0,74	0,69	0,50	mau	0,17	0,48	0,47
Franco Argilo Arenoso	2	16	0,01	0,02	0,00	0,1	0,97	0,99	0,99	0,98	ótimo	0,02	0,96	0,97
Franco Siltoso	2	24	0,03	0,08	0,00	0,2	0,92	0,96	0,93	0,89	ótimo	0,06	0,83	0,86
Franco Siltoso	5	22	0,05	0,12	0,03	7,9	0,67	0,90	0,90	0,82	muito bom	0,06	0,78	0,82
Franco	2	32	0,05	0,14	0,00	0,4	0,94	0,98	0,85	0,83	muito bom	0,11	0,68	0,72
Franco	5	69	0,07	0,19	0,05	14,6	-0,12	0,69	0,72	0,49	mau	0,13	0,50	0,51
Franco Arenoso	2	56	0,05	0,21	0,00	1,8	0,75	0,92	0,87	0,80	muito bom	0,06	0,71	0,75
Franco Arenoso	5	22	0,14	0,46	0,07	24,8	-0,19	0,59	0,42	0,25	péssimo	0,15	0,24	0,17
Areia	2	32	0,02	0,13	0,00	0,00	0,96	0,99	0,98	0,97	ótimo	0,01	0,95	0,96
Areia	5	8	0,03	0,19	-0,02	-0,13	0,95	0,99	0,99	0,98	ótimo	0,03	0,91	0,98
Orgânico	2	8	0,06	0,10	0,00	-0,3	0,70	0,90	0,83	0,75	bom	0,19	0,70	0,70

Continua ...

Continuação...

Classe Textural	Banco de dados	N	REQM	RREQM	EM	Pbias	EF	d	r	c	Desempenho	a	b	R ²
Unidade	-		cm ³ cm ⁻³	%	cm ³ cm ⁻³	%	-	-	-	-	-	cm ³ cm ⁻³	-	-
Horizontes subsuperficiais do solo														
Muito Argiloso	3	344	0,04	0,08	0,00	-0,1	0,56	0,84	0,75	0,63	mediano	0,23	0,54	0,56
Muito Argiloso	6	132	0,05	0,10	-0,01	-2,5	0,42	0,77	0,67	0,52	sofrível	0,28	0,45	0,46
Argila	3	159	0,07	0,14	0,00	-0,8	0,37	0,71	0,61	0,43	mau	0,32	0,35	0,37
Argila	6	102	0,07	0,13	0,02	2,5	0,17	0,67	0,51	0,34	péssimo	0,32	0,31	0,26
Argila Siltosa	3	8	0,01	0,02	0,00	0,0	0,98	0,99	0,99	0,98	ótimo	0,01	0,98	0,98
Franco Argiloso	3	48	0,03	0,08	0,00	-0,5	0,72	0,83	0,85	0,70	bom	0,12	0,70	0,72
Franco Argiloso	6	100	0,08	0,19	0,06	12,9	-0,42	0,59	0,50	0,30	péssimo	0,24	0,31	0,25
Franco Argilo Arenoso	3	40	0,10	0,26	0,00	-1,3	0,23	0,60	0,48	0,29	péssimo	0,29	0,23	0,24
Franco Argilo Arenoso	6	28	0,10	0,27	-0,03	-7,5	-0,01	0,55	0,33	0,18	péssimo	0,31	0,18	0,11
Franco	3	8	0,01	0,04	0,00	0,0	0,97	0,99	0,99	0,98	ótimo	0,01	0,97	0,97
Franco	6	12	0,19	0,38	0,16	0,34	-2,70	0,49	0,53	0,26	péssimo	0,17	0,32	0,28
Franco Arenoso	3	16	0,03	0,12	0,00	0,0	0,86	0,96	0,93	0,89	ótimo	0,03	0,86	0,86
Areia Franca	3	8	0,01	0,06	0,00	0,2	0,98	1,00	0,99	0,99	ótimo	0,01	0,97	0,98
Areia	6	32	0,04	0,20	0,00	0,3	0,90	0,97	0,95	0,92	ótimo	0,02	0,88	0,90
Areia	3	16	0,03	0,22	-0,03	-17,3	0,91	0,98	0,99	0,96	ótimo	0,04	0,92	0,97

Nos horizontes superficiais com textura franco argiloso siltosa, a capacidade preditiva das FPTs foi muito boa, e melhor que nas três classes anteriores. Na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de 5%, o índice de eficiência de 0,62, o índice de concordância de 0,91 e o desempenho muito bom. No entanto, faz-se importante destacar que foram utilizadas poucas amostras de solos nos dois bancos de dados (n=6) para obtenção desses indicadores estatísticos.

Nos horizontes superficiais com textura franco argilosa, a capacidade preditiva das FPTs foi boa e semelhante àquelas das três classes anteriores. Na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de 6 %, o índice de eficiência de 0,55, o índice de concordância de 0,86 e o desempenho bom.

Nos horizontes superficiais com textura franco arenosa, a capacidade preditiva das FPTs foi duvidosa, pois foram utilizados apenas dois horizontes do solo para geração dessa FPTs e não haviam amostras com essa classe textural para validação. Como os indicadores estatísticos foram calculados somente para o banco 2, o qual sempre teve melhor capacidade preditiva do que o banco 5 e, em função que as FPTs de classe foram geradas com o banco 2, os indicadores estatísticos não serão discutidos para essa classe de solo.

Nos horizontes superficiais com textura franco siltosa, a capacidade preditiva das FPTs foi muito boa e semelhante àquelas das classes anteriores com melhor predição. Na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) 4 %, o índice de eficiência de 0,79, o índice de concordância de 0,93 e o desempenho muito bom. No entanto, faz-se importante destacar que também foram utilizadas poucas amostras de solos nos dois bancos de dados (n=6) para obtenção desses indicadores estatísticos.

Nos horizontes superficiais com textura franca, a capacidade preditiva das FPTs foi boa e, na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de 7 %, o índice de eficiência de 0,41, o índice de concordância de 0,84 e o desempenho bom.

Nos horizontes superficiais com textura franco arenosa, a capacidade preditiva das FPTs foi ruim e inferior às demais classes texturais anteriormente discutidas. Na média dos dois bancos de dados, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de 13 %, o índice de eficiência de apenas 0,28, o índice de concordância de 0,75 e o desempenho sofrível. No entanto, faz-se importante destacar que foram utilizadas poucas amostras de solo nos bancos de dados exclusivo para validação (n=2) e foi justamente nesse banco de dados que a FPT de classe teve baixa capacidade preditiva.

Nos horizontes superficiais com textura arenosa, a capacidade preditiva das FPTs foi muito boa e similar as demais classes texturais com melhor capacidade preditiva. Na média dos dois bancos de dados, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) foi de -6 %, o índice de eficiência de 0,96, o índice de concordância de 0,99 e o desempenho foi ótimo. No entanto, faz-se importante destacar que foram utilizados poucos amostras de solos no bancos de dados exclusivo para validação (n=2), o qual formou a média dos indicadores estatísticos acima.

4.4.3.2 Validação das FPTs de classe dos horizontes subsuperficiais

Nos horizontes subsuperficiais com textura muito argilosa, a capacidade preditiva das FPTs foi razoável, pois os dois bancos utilizados para validação das FPTs tiveram indicadores estatísticos muito parecidos e para nenhum deles a capacidade preditiva foi ótima (**Tabela 86**). Na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) foi pequena (-1%), o índice de eficiência de 0,49, o índice de concordância de 0,80 e o desempenho foi sofrível.

Nos horizontes subsuperficiais com textura argilosa, a capacidade preditiva das FPTs de classe foi ruim e inferior em relação à maioria das demais classes texturais dos horizontes subsuperficiais. Na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) foi pequena (1%), o índice de eficiência de 0,28, o índice de concordância de 0,69 e o desempenho foi péssimo.

Nos horizontes subsuperficiais com textura argilo siltosa, a capacidade preditiva das FPTs foi duvidosa, pois foi utilizado apenas um horizonte do solo para geração dessa FPTs e não haviam amostras com essa classe textural para o banco exclusivo de validação (banco 6). Como os indicadores estatísticos foram calculados somente para o banco 3, o qual sempre teve melhor capacidade preditiva do que o banco 6, em função de que, as FPTs de classe foram geradas com o banco 3 e havia apenas um horizonte no banco de dados, os indicadores estatísticos não serão discutidos para essa classe de solo.

Nos horizontes subsuperficiais com textura franco argilosa, a capacidade preditiva das FPTs foi razoável, devido principalmente ao maior erro na predição da umidade do solo das amostras do banco exclusivo de validação (banco 6). Na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de 5 %, o índice de eficiência de 0,28, o índice de concordância de 0,73 e o desempenho foi sofrível.

Nos horizontes subsuperficiais com textura franco argilo arenosa, a capacidade preditiva das FPTs foi muito baixa, e a predição desta FPT foi uma das piores de todas para três classes texturais dos horizontes subsuperficiais. Na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de -4 %, o índice de eficiência de 0,11, o índice de concordância de 0,58 e o desempenho foi péssimo.

Nos horizontes subsuperficiais com textura franca, a capacidade preditiva das FPTs foi muito baixa, e a predição desta FPT foi a pior de todas para três classes texturais dos horizontes subsuperficiais. Na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de 17 %, o índice de eficiência de -0,86, o índice de concordância de 0,74 e o desempenho foi mediano.

Nos horizontes subsuperficiais com textura franco arenosa e areia franca, a capacidade preditiva das FPTs foi duvidosa, pois foi utilizado apenas um ou dois horizontes do solo para sua geração e não havia amostras com essa classe textural para o banco exclusivo de validação (banco 6). Como os indicadores estatísticos foram calculados somente para o banco 3, o qual sempre teve melhor capacidade preditiva do que o banco 6, em função de que, as FPTs de classe foram geradas com o banco 3 e havia apenas um ou dois horizontes no banco de dados, os indicadores estatísticos não serão discutidos para essas três classes de solo.

Nos horizontes subsuperficiais com textura arenosa, a capacidade preditiva das FPTs foi muito boa, pois foi a FTP com melhores indicadores estatísticos. Na média dos dois bancos, a raiz do erro quadrático médio foi de apenas $0,04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a tendência percentual (Pbias) de -9 %, o índice de eficiência de 0,91, o índice de concordância de 0,97 e o desempenho ótimo.

A capacidade preditiva das FPTs de classe foi melhor para os horizontes superficiais do solo e, dentre as classes texturais nesse horizonte, a estimativa da curva de retenção de água foi adequada para as classes texturais muito argilosa, argilosa, argilo siltosa, franco argilo siltosa, franco argilosa, franco siltosa e areia, com uma raiz do erro quadrático médio entre $0,02$ a $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, considerando o pequeno número de amostras utilizadas nos bancos de dados. Por outro lado, nos horizontes subsuperficiais, a estimativa da curva de retenção foi adequada apenas para os horizontes da classe areia, pois nas demais classes texturais, a capacidade preditiva foi baixa.

Quando os indicadores estatísticos obtidos na FPTs em cada classe textural foram comparados com a média dos indicadores das FPTs pontuais para a CC10, CC33 e PMP na médias dos bancos 2 e 5 nos horizontes superficiais e 3 e 6 nos horizontes superficiais, observou-se que os indicadores observados nas FPTs de classe com melhor predição (classes

mencionadas no parágrafo anterior) foram muito parecidos ou superiores os indicadores médios das FPTs pontuais.

4.4.4 FPTs de classe e paramétricas geradas *versus* FPTs publicadas na literatura

Um dos primeiros estudos para estimativa da curva de retenção de água no solo através de FPTs paramétricas foi publicado por VERECKEN *et al.* (1989), os quais propuseram FPTs para estimar os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) modificada, utilizando 182 horizontes de solos da Bélgica. A estimativa dos parâmetros foi realizada pela análise de regressão múltipla, combinada com a análise de componentes principais, e os autores concluíram que o aumento do número de frações granulométricas avaliadas no solo aumenta a capacidade preditiva das FPTs paramétricas. Contudo, os autores não disponibilizaram indicadores estatísticos de comparação entre as umidades medidas e as estimadas pelas FPTs paramétricas, o que possibilitaria a comparação com resultados observados nos solos catarinenses.

Quanto a solos de outros países, MINASNY, MCBRATNEY e BRISTOW (1999) desenvolveram FPTs paramétricas para a equação de van GENUCHTEN (1980) a partir de solos da Austrália utilizando diferentes métodos estatísticos, e obtiveram uma raiz do erro quadrático médio de $0,04 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em FPTs geradas por regressão não linear estendida ou rede neural artificial e de $0,11 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em FPTs geradas por regressão linear múltipla. BORGESSEN e SCHAAP (2005) obtiveram uma RQME de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em FPTs paramétricas geradas por rede neural artificial para solos da Dinamarca, e DASHTAKI, HOMAEE e KHODAVERDILOO (2010) também obtiveram uma RQME de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ em FPTs paramétricas geradas por análise de regressão múltipla para solos do Irã. Nos solos de Santa Catarina, o valor médio da raiz do erro quadrático médio foi de 0,07, 0,06 e $0,13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para os modelos 4, 6 e 7, na média dos dois horizontes e das classes texturais do solo, respectivamente. Isso resulta em uma RQME muito parecida com aquela obtida nos estudos com solos de outros países para as FPTs paramétricas dos modelos 4 e 6, principalmente porque as FPTs catarinenses foram obtidas pela análise de regressão múltipla linear.

Em relação aos solos do Brasil, TOMASSELLA, HODNETT e ROSSATO (2000) desenvolveram FPTs paramétricas, para estimativa dos parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) utilizando solos de alguns estados brasileiro e obtiveram RQME de $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para o “*level 4*”, que utiliza praticamente as mesmas variáveis preditoras

utilizadas no Modelo 6 das FPTs paramétricas dos solos catarinenses, que também teve uma RQME igual a $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Um dos primeiro estudos na geração de FPTs de classe para a estimativa da curva de retenção de água foi o realizado por RAWLS, BRAKENSIEK e SAXTON (1982), os quais propuseram FPTs pontuais para estimativa da umidade de solos dos EUA em 12 sucções. Também disponibilizaram os valores médios da porosidade de saturação, do conteúdo de água residual, e dos parâmetros da equação de BROOKS e COREY (1964) para 12 classes texturais de solo (USDA, 1993), o que possibilita calcular a umidade do solo para a qualquer sucção de interesse. Esses parâmetros foram utilizados para estimar a CC10, PMP e AD10 para os solos dos EUA e para comparar com esses mesmos atributos medidos nas classes texturais dos solos de Santa Catarina, os quais foram objeto de discussão no Estudo 2. Entretanto, os autores desse estudo fornecem apenas os valores máximos e mínimos de cada parâmetro da equação de BROOKS e COREY (1964) em cada classe textural do solo, não apresentando outros indicadores estatísticos que pudessem ser comparados aos apresentados neste estudo.

Para solos brasileiros, não foram encontrados estudos quanto ao desenvolvimento de FPTs de classe, o que impossibilitou analisar e comparar os resultados das FTPs de classe geradas com dados de solos catarinenses com aqueles existentes em solos de outros Estados.

WÖSTEN, FINKE e JANSEN (1995) avaliaram FPTs contínuas (pontuais e paramétricas) e de classe para solos arenosos da Holanda quanto a sua capacidade de prever alguns aspectos funcionais do solo e observaram uma capacidade preditiva muito parecida entre os dois tipos de FPTs para a maioria dos aspectos avaliados. Os autores sugerem o uso de FPTs de classe, quando possível, devido a seu uso mais barato e fácil em relação as FPTs contínuas. Entretanto, não foram apresentados os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) para as classes texturais de solo, bem como indicadores estatísticos de sua capacidade preditiva. Apenas foram listadas as FPTs paramétricas para estimar os parâmetros dessa equação. Em outro estudo, WÖSTEN *et al.* (1999) desenvolveram funções de classe e paramétricas para a equação de van GENUCHTEN (1980), utilizando uma grande base de dados de solos de países europeus, e também listaram apenas as FPTs paramétricas para estimar os parâmetros dessa equação, sem informar os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) para as classes texturais de solo, bem como indicadores estatísticos da capacidade preditiva das duas FPTs.

Algumas FPTs de classe foram propostas por HODNETT e TOMASELLA (2002), as quais fornecem os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) em função da classe

textural do solo (USDA, 1993) e também FPTs paramétricas, que possibilitam estimar esses parâmetros, utilizando duas bases de dados, uma contendo solos de clima tropical (argila de atividade baixa) e outra contendo solos de clima temperado (argila de atividade alta). Na médias das bases de dados, os autores obtiveram uma RQME igual a $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para as FPTs paramétricas e de $0,08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para as FPTs de classe. Esses resultados foram comparados aos obtidos nesses dois tipos de FPTs geradas para os solos de Santa Catarina, que tiveram um RQME de $0,06$ e $0,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para as FPTs paramétricas geradas no modelos 4 e 6, respectivamente, e de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para as FPTs de classe. Portanto este indicador estatístico foi semelhante entre o observado para os solos de SC e de outros locais.

Em relação a solos europeus, AL MAJOU *et al.*, (2007) propuseram FPTs de classe de três diferentes formas: calculando as umidades médias em diferentes sucções para solos da França, em função da classe textural do solo, da classe textural combinada com a faixa de densidade do solo em cada classe e calculando os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980) na média dos solos para cada classe textural. Entretanto, os autores utilizaram o triângulo textural proposto pela Comissão Europeia (CEC, 1985), o qual difere pelo número de classes (apenas 5) daquele utilizado nesse estudo (13 classes). Além das FPTs de classe, os autores geraram FPTs pontuais para estimar a umidade em sete sucções do solo, e FPTs paramétricas para estimar os parâmetros da equação de van GENUCHTEN (1980), utilizando a textura, matéria orgânica e densidade do solo. Após a geração das FPTs, os autores avaliaram a capacidade preditiva das FPTs e concluíram que as FPTs de classe que utilizaram somente a classe textural do solo tiveram uma performance muito parecida com as FPTs pontuais e paramétricas. Quanto aos indicadores estatísticos, os autores não informaram quanto à capacidade preditiva das FPTs para cada classe textural do solo, apenas calcularam o erro médio e o desvio padrão da predição para todas as classes de solo. Como o desvio padrão da predição não foi calculado para as FPTs de classe nos solos de Santa Catarina, apenas o erro médio pode ser comparado aos obtidos por AL MAJOU *et al.*, (2007), concluindo-se que os valores observados nos dois estudos não diferem muito, pois nas FPTs de classe e paramétricas dos solos catarinenses obteve-se uma erro médio de aproximadamente $0,008$ e $-0,001 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, respectivamente, enquanto que para os solos franceses obteve-se um erro médio de $0,002 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, sendo que a umidade média dos solos franceses foi inferior a $2/3$ daquelas observadas nos solos catarinenses.

Em outro estudo, AL MAJOU *et al.* (2008) utilizaram quase os mesmos dados do estudo publicado por AL MAJOU *et al.*, (2007) e calcularam a raiz do erro quadrático médio (REMQ) para as FPTs de classe dos solos franceses, a qual variou de $0,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nos solos

de textura arenosa a $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ nos solos de textura franco argilosa. Nas FPTs de classe dos solos de Santa Catarina foram obtidas REQM igual ou um pouco maiores nas classes texturais avaliadas em relação aquela obtida nos solos Franceses.

4.4.5 Considerações finais.

As FPTs pontuais devem ser utilizadas separadamente para cada horizonte do solo (superficiais e subsuperficiais), para uma melhor estimativa da retenção e disponibilidade de água dos solos do Estado de Santa Catarina.

A estimativa da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente através de FPTs pontuais pode ser realizada com uma boa capacidade preditiva com dados de textura e matéria orgânica do solo e suas interações (modelo 4), enquanto que, para estimativa da disponibilidade de água para as plantas, se sugere a utilização de FPTs pontuais mais complexas, com a inclusão das cinco classes de areia como algumas das variáveis preditoras (modelo 7).

As FPTs de classe estimaram adequadamente a curva de retenção de umidade do solo para a maioria das classes texturais dos solos de Santa Catarina.

As FPTs paramétricas estimaram adequadamente a curva de retenção de umidade do solo para a maioria das classes texturais dos solos de Santa Catarina, quando são utilizados a granulometria, a matéria orgânica, a densidade do solo e de partículas, a porosidade total e suas interações (modelo 6) como variáveis preditoras.

Para aumentar a precisão da estimativa da umidade do solo calculada pelas FPTs de classe ou paramétricas, faz-se necessário a ampliação do banco de dados, incluindo solos com textura mais diversificada, além de contemplar solos representativos de outros locais ou regiões do Estado de Santa Catarina.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Em relação aos atributos, solos com textura mais fina e/ou com maior teor de MO retêm maior conteúdo de água, sendo que a MO é o principal atributo que governa a disponibilidade de água, principalmente nos horizontes superficiais. Algumas classes de areia, principalmente as areias muito fina, fina e grossa, possuem maiores efeitos sobre disponibilidade de água do que a fração silte. Os solos com classes texturais contrastantes, com elevados teores de argila ou de areia, disponibilizam o mesmo conteúdo de água disponível, mas os arenosos possuem baixa capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Maior água disponível ocorre em solos das classes com textura franca e com maior teor de matéria orgânica enquanto a menor disponibilidade ocorre em solos da classe Areia.

Em relação à litologia, ocorre uma maior retenção de água em solos derivados de rochas ígneas extrusivas, metamórficas, ígneas intrusivas e sedimentares de textura fina e menor nos derivados de rochas ou depósitos sedimentares ricos em quartzo. Maior disponibilidade de água ocorre em solos derivados de siltitos e o menor em solos derivados de granito e de depósitos aluvionares recentes.

Em relação às classes de solos (subordens), a retenção de água é maior nos Cambissolos, Nitossolos e Latossolos e a menor nos Neossolos Quartzarênicos. Quanto às regiões, os solos do Meio Oeste e Oeste, Planalto Serrano, Encostas Basálticas e Vale do Itajaí possuem elevada retenção de água, os da Serra Leste é intermediária e os do Litoral é baixa. Os Cambissolos Húmicos e os Neossolos Litólicos, localizados no Planalto Serrano, tem maior disponibilidade de água, principalmente devido aos elevados teores de matéria orgânica.

Em relação aos tipos de solos da instrução normativa n. 2/2008 do MAPA (BRASIL, 2008), que classifica os solos em função do teor de argila e areia, observa-se que a mesma não é adequada para classificar os solos catarinenses quanto a disponibilidade de água. Entretanto, a condutividade hidráulica não saturada é menor nos solos do Tipo 1.

Em relação às FPTs da literatura, elas estimam melhor a retenção do que a disponibilidade de água, com maior precisão pelas funções originadas de regiões de clima subtropical e para os horizontes subsuperficiais do solo. A maioria das funções avaliadas subestima a retenção de água, com erros maiores nos solos com 200 a 600 g kg⁻¹ de argila.

Quanto às FPTs geradas para os solos de Santa Catarina, as que melhor estimam a retenção e disponibilidade de água são aquelas ajustadas separadamente para os horizontes superficiais e subsuperficiais. Para estimar a retenção de água devem ser utilizadas as FPTs pontuais que incluem dados de granulometria e matéria orgânica do solo e suas interações e, para estimar a disponibilidade de água devem ser utilizadas as FPTs pontuais que utilizam as cinco classes de areia, silte, argila, a matéria orgânica, a densidade do solo e de partículas e a porosidade total e suas interações. As FPTs paramétricas estimam adequadamente a curva de retenção de água do solo para a maioria das classes texturais dos solos, quando são incluídos dados de textura, matéria orgânica, densidade do solo e de partículas e a porosidade total e suas interações como variáveis preditoras. As FPTs de classe estimam adequadamente a curva de retenção de água do solo para a maioria das classes texturais dos solos de Santa Catarina, mais possuem capacidade preditiva um pouco inferior as FPTs paramétricas.

6 RECOMENDAÇÃO

Devido à relevância do assunto, são necessários mais estudos para determinação dos atributos relacionados a retenção e disponibilidade de água em outras unidades de mapeamento que ocorrem em solos do Estado de Santa Catarina, pois esse estudo teve caráter pioneiro e necessita ser ampliado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHUJA, L. R.; NANEY, J. W.; WILLIAMS, R. D. Estimating soil water characteristics from simpler properties or limited data. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 1100-1105, 1985.

AHUJA, L. R.; WILLIAMS, R. D. Scaling water characteristic and hydraulic conductivity based on Gregson-Hector-McGowan approach. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, p. 308-319, 1991.

AL MAJOU, H. et al. Variation of the water-retention properties of soils: Validity of class-pedotransfer functions. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 339, p. 632-639, 2007.

AL MAJOU, H. et al. Prediction of soil water retention properties after stratification by combining texture, bulk density and the type of horizon. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 383-391, 2008.

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Retenção de água em diferentes frações de areia. In: **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Uberlândia, 2011. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas, 2011.

ALMEIDA, J. A.; KÄMPF, N.; ALMEIDA, R. Caracterização mineralógica de Cambissolos originados de rochas pelíticas nos patamares do alto rio Itajaí e no planalto de Lages. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 181-190, 1997.

ALMEIDA, J. A.; MAÇANEIRO, K. C.; KLAMT, E. Mineralogia da fração argila de solos vermelhos com horizontes superficiais brunados do Planalto de Lages, SC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 815-828, 2000.

ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfato em latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 985-1002, 2003.

ANDERSON, A. N.; MCBRATNEY, A. B. Soil aggregates as mass fractals. **Australian Journal of Soil Research**, v. 33, p. 757-772, 1995.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 857-865, 2000.

ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 425-435, 2005.

ARNOLD, J. G. et al. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment. Part I : Model Development. **Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)**, v. 34, p. 73-89, 1998.

ARRUDA, C. A. O. et al. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um latossolo vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 34, p. 804-809, 2010.

ARRUDA, F. B.; JÚLIO JR., J.; OLIVEIRA, J. B. Parâmetros de solo para cálculo de água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 11-15, 1987.

ARYA, L. M. et al. Relationship between the hydraulic conductivity function and the particle-size distribution. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1063-1070, 1999.

ARYA, L. M. et al. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 510-519, 1999.

ARYA, L. M.; PARIS, J. F. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, p. 1023-1030, 1981.

ASCE. Criteria for evaluation of watershed models. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 119, p. 429-442, 1993.

ASSAD, E. D. Zoneamento agrícola e os riscos climáticos. **Agroanalysis**, v. 24, p. 17-18, 2004.

ASSAD, M. L. L. et al. Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 588-596, 2001.

ASSIMAKOPOULOS, V. et al. Assessing the influence of near wall treatment on the wind and dispersion characteristics in urban areas. **Sixth International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes**, Rouen, France, 1999.

BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Desempenho da cultura do feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2340-2346, 2009.

BALDISSERA, I. T. et al. **Caracterização físico-hídrica de seis solos minerais não hidromórficos de Santa Catarina submetidos a diferentes sistemas de manejo**. Florianópolis: EPAGRI, 1997. 55 p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 93).

BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 697-710, 2000.

BARROS, A. H. C. Desenvolvimento de funções de pedotransferencia e sua utilização em modelo agro-hidrologico. Piracicaba, ESALQ/USP, 2010. 148 f. Tese de Doutorado..

BARROS, A. H. C. et al. Desenvolvimento de funções de pedotransferência para regiões do nordeste brasileiro. In: **XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 31., Fortaleza, 2009. Anais da..., Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

BASTET, G. . Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à l'aide de fonctions de pédotransfert: développement de nouvelles approches. Orléans, France, 'Université d'Orléans, 1999. Thèse de Doctorat.

BASTET, G. et al. Performance of available pedotransfer functions for predicting the water retention properties of French soils. In: VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; WU, L. **Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media**. Riverside, CA: University of California, 1999. p. 981-992.

BATJES, N. H. Development of a world data set of soil water retention properties using pedotransfer rules. **Geoderma**, v. 71 , p. 31-52, 1996.

BATJES, N. H. A world dataset of derived soil properties by FAO-UNESCO soil unit for global modelling. **Soil Use and Management**, v. 13, p. 9-16, 1997.

BAUER, A.; BLACK, A. L. Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 248-254 , 1992.

BAUMER, O. W.; BRASHER, B. R. **Prediction of water content at selected suctions**. Madison: American Society of Agricultural Engineers, 1982. ASAE Paper No. 82-2590.

BEHLING, H. Investigations into the late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). **Vegetation History and Archaeobotany**, v. 4, p. 127-152, 1995.

BEHLING, H. South and Southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 177, p. 19-27, 2002.

BEHLING, H.; PILLAR, V. D.; BAUERMANN, S. G. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 133, p. 235-248, 2005.

BELL, M. A.; van KEULEN, H. Soil pedotransfer functions for four Mexican soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 865-871, 1995.

BELSLEY, D. A.; KUH, E.; WELSCH, R. E. **Regression diagnostics. Identifying influential data and sources of collinearity**. New York: John Wiley & Sons, 1980.

BERTOL, I. et al. Propriedades Físicas do solo relacionadas a diferentes ofertas de forragem de capim Elefante-Anão Cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1047-1054, 2000.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas e químicas e produtividade de milho afetadas pelo manejo do solo com tração animal, numa Terra Bruna Estruturada. **Ciência Rural**, v. 30, p. 971-976, 2000.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.

BERTOL, I. et al. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um solo Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 245-252, 2010.

BERTOL, I.; SANTOS, J. C. P. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no Planalto Catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p. 263-267, 1995.

BEUTLER, J. F. et al. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 509-517, 2003.

BICKNELL, B. R. et al. **Hydrological Simulation Program – FORTRAN (HSPF), User's Manual for Version 12.0**. Athens, Georgia: USEPA, 2001.

BIRD, N. R. A.; PERRIER, E.; RIEU, M. The water retention function for a model of soil structure with pore and solid fractal distributions. **European Journal of Soil Science**, v. 51, p. 55-63, 2000.

BISWAS, T. D.; ALI, M. H. Retention and availability of soil water as influenced by soil organic carbon. **Indian Agricultural Research Institute**, v. 39, p. 582-588, 1969.

BLOEMEN, G. W. Calculation of hydraulic conductivities from texture and organic matter content. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 143, p. 581-605, 1980.

BOND, W. J. et al. evaluation of methods for obtaining soil hydraulic properties. In: VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; WU, L. **Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media**. Riverside: University of California, 1999. p. 1161-1172.

BORGESSEN, C. D.; SCHAAP, M. G. Point and parameter pedotransfer functions for water retention predictions for Danish soils. **Geoderma**, v. 127, p. 154-167, 2005.

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Advances in Soil Science** 9, p. 177-213, 1989.

BOUMA, J.; DROOGERS, P. Comparing different methods for estimating the soil moisture supply capacity of a soil series subjected to different types of management. **Geoderma**, v. 92, p. 185-197, 1999.

BOUMA, J.; HOOSBEEK, M. R. The contribution and importance of soil scientists in interdisciplinary studies dealing with land. In: WAGENET, R. J.; BOUMA, J. **The Role of Soil Science in Interdisciplinary Research**. Madison: SSSA, 1996. p. 1- 15. SSSA Special Publications No. 45.

BOUMA, J.; VAN LANEN, H. A. J. Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. In: Quantified land evaluation procedures. **Proceedings of the international workshop on quantified land evaluation procedures**, Washington, DC, 1986.

BOUYOUCOS, G. J. Effect of organic matter on the water holding capacity and the wilting points of mineral soils. **Soil science**, v. 47, p. 377-383, 1939.

BRAIDA, J. A. et al. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 221-278, 2011.

BRAKENSIEK, D. L.; RAWLS, W. J. Agricultural management effects on soil water processes. II. Green and Ampt parameters for crusting soils. **Transactions of the ASAE**, v. 26, p. 1751-1757, 1983.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 2/2008. Adota no Zoneamento Agrícola de Risco Climático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, as especificações para solo que descreve**. Brasília: M.A.A, 2008. Publicado no Diário Oficial da União de 10/10/2008.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 2/2008. Adota no Zoneamento Agrícola de Risco Climático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, as especificações para solo que descreve**. Brasília: M.A.A, 2008. Publicado no Diário Oficial da União de 10/10/2008 , Seção 1 , Página 71.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento de Recursos Naturais. Folha SH 22, Porto Alegre e parte das folhas SH 21 e SI 22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p.

BRIGGS, L. J.; MCLANE, J. W. The moisture equivalent of soils. **U.S. Department of Agriculture Bureau of Soils Bulletin**, v. 45, p. 1-23, 1907.

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. The wilting coefficient and its indirect measurement. **Botanical Gazette** , v. 53, p. 20-37, 1912.

BRINGHENTI, I. Mineralogia e gênese dos solos das serras litorâneas do norte catarinense., Lages , CAV/UDESC, 2010. 110 f. Dissertação de Mestrado.

BROOKS, R. H.; COREY, A. T. **Hydraulic Properties of Porous Media**. Civil Engineering Department; Colorado State University. Fort Collins. 1964. Hydrology Paper 3.

BRUAND, A. Utilizing mineralogical and chemical information in PTFS. In: RAWLS, Y. P. A. W. J. **Development of pedotransfer functions in soil hydrology**. Development in Soil Science. Amsterdam: Elsevier, v. 30, 2004. p. 153-158.

BUDIMAN, M. et al. **Revisão sobre funções de Pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 50 p. Embrapa Solos. Documentos, 45.

BURNS, I. G. . A model for predicting the redistribution of soil applied to fallow soils after excess rainfall or evaporation. **Journal of Soil Science**, v. 32, p. 225-236, 1974.

BURROWS, W. C.; KIRKHAM, D. Measurement of field capacity with a neutron meter. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 22, p. 103-105, 1958.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação o desempenho de diferentes metodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, p. 89-97, 1997.

CAMPBELL, G. S. A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. **Soil Science**, v. 117, p. 311-314, 1974.

CAMPBELL, G. S. **Soil Physics with BASIC**. Amsterdam: Elsevier, 1985.

CANARACHE, A.; MOTOC, E.; DUMITRIU, R. Infiltration rate as related to hydraulic conductivity, moisture deficit and other soil properties. In: RIJTEMA, P. E.; WASSINK, H. **Water in the Unsaturated Zone**. [S.l.]: Proceedings of the Wagenigen Symposium Vol. I, 1968. p. 392-401.

CASTRO, J. C. **Coluna White**: estratigrafia da Bacia do Paraná no Sul do Estado de Santa Catarina - Brasil. Florianópolis: Secretaria de Estado da Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, 1994. 68 p. Serie: Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina, 4.

CHEN, J. S.; CHIU, C. Y. Effect of topography on the composition of soil organic substances in a perhumid sub-tropical mountain forest ecosystem in Taiwan. **Geoderma**, v. 96, p. 19–30, 2000.

CHIRICO, G. B.; MEDINA, H.; ROMANO, N. Uncertainty in predicting soil hydraulic properties at the hillslope scale with indirect methods. **Journal of Hydrology**, v. 334, p. 405–422, 2007.

CLAPP, R. B.; HORNBERGER, G. M. Empirical equations for some soil hydraulic properties. **Water Resources Research**, v. 14, p. 601-604, 1978.

CLARK, L. A.; PREGIBON, D. Tree-based models. In: CHAMBERS, J. M.; HASTIE, T. J. **Statistical Models in S**. California: Wadsworth & Brooks/ Cole Advanced Books & Software, Pacific Grove, 1992.

COLLIS-GEORGE, N.; FIGUEROA, B. S. The use of high energy moisture characteristics to assess soil stability. **Australian Journal of Soil Research**, v. 22, p. 349-356, 1984.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (CEC). **Soil map of the European Communities. Scale 1: 1 000 000**. Luxembourg: CEC-DGVI, 1985.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.

CORDANI, U. G.; VANDOROS, P. Basaltic rocks of the Paraná basin. In: BIGARELA, J. J. **Problems in Brazilian Gondwana Geology**. Curitiba: UFPR, 1967. p. 207-231.

CORREIA, J. Mineralogia e gênese das principais classes de solos de encostas basálticas do estado de Santa Catarina, Lages, CAV/UDESC, 2003. 110 f. Dissertação de Mestrado.

COSTA, A. et al. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo do solo na integração agricultura pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 235-244, 2009.

COSTA, A. et al. Atributos físicos do solo em diferentes rotações de Pinus taeda na Serra Catarinense. In: ' **XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2010**. Teresina-PI: Anais da., 2010.

COX, F. R. Current phosphorous availability indices: characteristics and shortcomings. In: HAVLIN, J. L.; JACOBSEN, J. S. **Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendation**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 101-113. SSSA Special Publications No. 40.

CRESSWELL, H. P.; PAYDAR, Z. Water retention in Australian soils. I. Description and prediction using parametric functions. **Australian Journal of Soil Research**, v. 34, p. 195-212, 1996.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: Estatística experimental e matrizes**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 285 p.

CRUZ, C. D. **GENES - Aplicativo computacional em genética e estatística**, 2011. Disponível em: <http://www.ufv.br/dbg/genes/Genes_Br.htm>. Acesso em: 12 outubro 2011.

CUNHA, G. R.; ASSAD, E. D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre o zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 446-459, 2001. Número Especial: Zoneamento Agrícola.

DA SILVA, A.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 877-883, 1997.

DALMOLIN, R. S. D. et al. Organic matter characteristics and distribution in ferralsols profiles of a climosequence in Southern Brazil. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 644-654, 2006.

DASHTAKI, G. S.; HOMAEI, M.; KHODAVERDILOO, H. Derivation and validation of pedotransfer functions for estimating soil water retention curve using a variety of soil data. **Soil Use and Management**, v. 26, p. 68-74, 2010.

DAY, P. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 545-567.

de JONG, R.; CAMPBELL, C. A.; NICHOLAICHUK, W. Water retention equations and their relationship to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 62, p. 343-350, 1983.

de JONG, R.; REYNOLDS, W. D. **Methodology for predicting agrochemical leaching on a watershed basis**. In: Site-Specific Management for Agricultural Systems. Proceedings of Second International Conference, Minneapolis. Madison: American Society of Agronomy. 1994. p. 795-818.

de VRIES, D. A. Thermal properties of soils. In: VAN WIJK, W. R. **Physics of Plant Environment**. 2. ed. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1966.

de WIT, C. T.; VAN KEULEN, H. **Simulation of Transport Processes in Soils**. 2. ed. Wageningen: Pudoc, 1975.

DEMUTH, H.; BEALE, M. **Neural Network Toolbox Users Guide. Version 3.0**. Natic MA: Mathworks Inc., 1998.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root. **Geoderma**, v. 20, p. 201-214, 2004.

DIECKOW, J. et al. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, v. 60, p. 240-249, 2009.

DIRKSEN, C. Unsaturated hydraulic conductivity. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. **Soil Analysis: Physical Methods**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1991. p. 209-269.

DNPM. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina, escala 1: 500.000**. Florianópolis: Coord. de Recursos Minerais da Secretaria de Ciência e Tecnologia, Minas e Energia, 1987. 216 p. Série textos básicos de geologia e recursos naturais de Santa Catarina, 1.

DONATELLI, M. et al. Methods to evaluate pedotransfer functions. In: PACHEPSKY, Y. A.; RAWLS, W. J. **Development of pedotransfer functions in Soil Hydrology**. Developments in Soil Science. Amsterdam: Elsevier, v. 30, 2004. p. 357–363.

DROOGERS, P.; BOUMA, J. Soil survey input in exploratory modelling of sustainable soil management practices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 1704-1710, 1997.

EBTISAM, I. E.-D. Soil Available Water as Affected by Some Soil Physio-chemical properties in Salt Affected Soils. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 1, p. 220-225, 2007.

EMBRAPA & EPAGRI. **VIII RCC REUNIÃO NACIONAL DE CORRELAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (SANTA CATARINA)**. EMBRAPA; EPAGRI. Santa Catarina. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 1 CD-ROM.; mapa color. - (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 46).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/Cnps, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, Cnps, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: 3ª aproximação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1988. 105 p.

EPAGRI/CIRAM. **Zoneamento agroecológico e socioeconômico do estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. Disponível na internet: http://www.ciram.com.br/ciram_arquivos/arquivos/porta/agricultura/zoneAgroecologico/ZonAgroeco.pdf. Acesso em 19 de dezembro de 2011.

EPEBINU, O.; NWADIALO, B. Predicting soil water availability from texture and organic matter content for Nigerian soils. **Communication of Soil Science Plant Analysis**, v. 24, p. 633-640, 1993.

ESPANHOL, G. L. Controle de ervas e adubação orgânica em macieira: propriedades químicas e físicas do solo, Lages, CAV/UDESC, 2005. 47 f. Dissertação de Mestrado.

ESPINO, A. et al. Cautionary notes on the use of pedotransfer functions for estimating soil hydraulic properties. **Agricultural Water Management** , v. 29, p. 235-253, 1995.

FAO. **The Digitized Soil Map of the World. World Soil Resources Report 67 (Release 1.0)**. Rome: FAO, 1991.

FARROW, S. J. The GMDH algorithm. In: FARROW, S. J. **Self-organizing Methods in Modeling: GMDH Type Algorithms**. New York: Marcel-Dekker, 1984. p. 1-24.

FAZELI, M. et al. A fractal approach for estimating soil water retention curve. **Journal of soil science and environmental management**, v. 1, p. 177-183, 2010.

FELLER, C.; BEARE, M. H. . Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.

FERNANDEZ, R. N. et al. Color, organic matter, and pesticide adsorption relationships in a soil landscape. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p. 1023-1026, 1988.

FRANZMEIER, D. P. Estimation of hydraulic conductivity from effective porosity data for some Indiana soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, p. 1801-1803, 1991.

FREDLUND, D. G.; XING, A.; HUANG, S. Predicting the permeability function for unsaturated soils using the soil-water characteristic curve. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 31, p. 533-546, 1994.

GAISER, T.; BARROS, I. D.; FIRESENAI SEREKE, F.-M. L. Validation and reliability of the EPIC model to simulate maize production in small-holder farming systems in tropical sub-humid West Africa and semi-arid Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment** , v. 135 , p. 318-327, 2010.

GAISER, T.; GRAEF, F.; CORDEIRO, J. C. Water retention characteristics of soils with contrasting clay mineral composition in semi-arid tropical regions. **Australian Journal of Soil Research**, v. 38, p. 523-526, 2000.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 885-893, 2002.

GONCALVES, M. C.; PEREIRA, L. S.; LEIJ, F. J. Pedo-transfer functions for estimating unsaturated hydraulic properties of Portuguese soils. **European Journal of Soil Science**, v. 48, p. 387-400, 1997.

GREENLAND, D. J.; GREGORY, P. J.; NYE, P. H. (Eds). Land Resources: on the Edge of Malthusian Precipice? **Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B**, Wallingford, UK, v. 352, p. 859- 1033, 1997.

GREGSON, K. . H. D. J. . M. M. . A one-parameter model for the soil water characteristic. **Journal of Soil Science**, v. 38, p. 483–486, 1987.

GUBIANI, P. I. et al. Permeâmetro de carga decrescente associado a programa computacional para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 993-997, 2010.

GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with m multilevel expert calibration. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 4, p. 135-143, 1999.

GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content, and bulk density. **Water Resources Research**, v. 15, p. 1633-1635, 1979.

HALL, D. G. M. et al. **Water retention, porosity and density of field soils**. Harpenden: Soil Survey of England & Wales, 1977. 75 p. Technical Monograph No. 9.

HASKETT, J.; PACHEPSKY, Y. A.; ACOCK, B. Estimation of soybean yields at county and state level using GLYCIM: a case study for Iowa. **Agronomy Journal**, v. 87, p. 926-931, 1995.

HASTIE, T. J. Generalized additive models. In: CHAMBERS, J. M.; HASTIE, T. J. **Software, Statistical Models in S**. California: Wadsworth & Brooks/ Cole Advanced Books & Software, Pacific Grove, 1992.

HELYAR, K. R.; CREGAN, P. D.; GODYN, D. L. Soil acidity in New south Wales - current pH values and estimates of acidification rate. **Australian Journal of Soil Research**, v. 28, p. 523- 527, 1990.

HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J. Marked differences between van Genuchten soil water-retention parameters for temperate and tropical soils: a new water-retention pedo-transfer functions developed for tropical soils. **Geoderma**, v. 108, p. 155-180, 2002.

HUDSON, B. Soil organic matter and available water capacity. **Journal of Soil Water Conservation**, v. 49, p. 189–193, 1994.

IMAM, B. et al. **Comparison of pedotransfer functions to compute water holding capacity using the van Genuchten Model in Inorganic Soils**. [S.l.]: IGBP-DIS WORKING PAPER # 22, 1999.

ISELL, R. F. **The Australian Soil Classification**. Australia: CSIRO, 1996. 143 p.

JAGTAP, S. S.; JONES, J. W. Predicting regional soybean yield and production: Adaptation of the CROPGRO soybean simulation model and scaling up yields. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 93, p. 78-85, 2002.

JASTROW, J. D.; AMONETTE, J. E.; BAILEY, V. L. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. **Climatic Change**, v. 80, p. 5–23., 2007.

JONES, C. A. Estimation of percent aluminium saturation from soil chemical data. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, p. 327-335, 1984.

JONES, J. W. et al. The DSSAT cropping systems model. **European Journal Agronomy**, v. 18, p. 235-265, 2003.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. **Geoderma**, v. 29, p. 27-39, 1983.

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KAY, B. D.; DA SILVA, A. P.; BALDOCK, J. A. Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content: Predictions using pedotransfer functions, Canadian Journal of Soil Science, v. 77, p. 655-667, 1997.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. **Geonomos**, v. 5, p. 17-40, 1997.

KERN, J. S. Evaluation of soil water retention models based on soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 1134-1141, 1995.

KLEINMAN, P. J. A.; BRYANT, R. B.; REID, W. S. Development of pedotransfer functions to quantify phosphorus saturation of agricultural soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 28, p. 2026-2030., 1999.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis. Part 1**. 2. ed. Madison: ASA and SSSA, 1986. p. 635-662. Agronomy Monograph 9.

KOEKKOEK, E. J. W.; BOOLTINK, H. Neural network models to predict soil water retention. **European Journal Soil Science**, v. 50, p. 489-495, 1999.

LAMP, J.; KNEIB, W. Zur quantitativen Erfassung und Bewertung von Pedofunktionen. **Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft**, v. 32, p. 695-711, 1981.

LEGATES, D. R.; MCCABE, G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, v. 35, p. 233-241, 1999.

LEIJ, F. et al. **The UNSODA unsaturated soil hydraulic database. User’s manual version 1.0. EPA/600/R-96/095**. Cincinnati, OH: National Risk Management Laboratory, Office of Research and Development, 1996.

LITTLE, I. P. The relationship between soil pH measurements in calcium chloride and water suspensions. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 587-592, 1992.

LOAGE, K. Using texture to estimate saturated hydraulic conductivity and the impact on rainfall-runoff simulations. **Water Resources Bulletin**, v. 28, p. 687-693, 1992.

LUNARDI NETO, A. et al. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1379-1388, 2008.

MASSUTI, M. M. Caracterização da água disponível a partir de parâmetros físico-hídricos em solos da zona da mata do estado de Pernambuco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1997. 69f. Dissertação de Mestrado.

MATHSOFT. **Plus 2000 User's Guide**. Seattle: Data Analysis Products Division, Mathsoft, 1999.

MAYR, T.; JARVIS, N. J. Pedotransfer functions to estimate soil water retention parameters for a modified Brooks-Corey type model. **Geoderma**, v. 91, p. 1-9, 1999.

MBAGWU, J. S. C.; ABEH, O. G. Prediction of engineering properties of tropical soils using intrinsic pedological parameters. **Soil Science**, v. 163, p. 93-102, 1998.

MCBRIDE, R. A.; JOOSSE, P. J. Overconsolidation in agricultural soils. II. Pedotransfer functions for estimating preconsolidation stress. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 373-380, 1996.

MCCOWN, R. L. et al. APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. **Agricultural Systems**, v. 50, p. 255-271, 1996.

MCKENZIE, N. J.; JACQUIER, D. W. Improving the field estimation of saturated hydraulic conductivity in soil survey. **Australian Journal of Soil Research**, v. 35, p. 803-825, 1997.

MCQUEEN, I. S.; MILLER, R. F. Approximating soil moisture characteristics from limited data: Empirical evidence and tentative model. **Water Resources Research**, v. 10, p. 521-527, 1974.

MELFI, A. J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1 : Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 7, p. 271-286, 1977.

MELLO, C. R. D. et al. Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da microrregião Campos das Vertentes, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1319-1324, 2002.

MENDES, C. J.; PETRI, S. **Geologia do Brasil**. Brasília: Ministério da Educação e Cultura/Instituto Nacional do Livro, 1975. 207 p.

MERRY, R. H.; SPOUNCER, L. R. The measurement of carbon in soils using a microprocessor-controlled resistance furnace. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 707-720, 1988.

MERTZ, L. M. et al. Atributos químicos e físicos do solo em pomares de macieira nos sistemas de produção orgânico e convencional. In: **XXVI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 2004**. Lages-SC: Anais da., 2004.

MICHELON, C. J. et al. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 40, p. 848-853, 2010.

MINASNY, B. Efficient methods for predicting soil hydraulic properties., Sydney, The University of Sydney, 2006. 352 f. Doctoral thesis.

MINASNY, B.; HARTEMINK, A. E. Predicting soil properties in the tropics. **Earth-Science Reviews**, v. 106, p. 52-62, 2011.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; BRISTOW, K. L. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. **Geoderma**, v. 93, p. 225- 253, 1999.

MORAES, S. O.; LIBARDI, P. L. Variabilidade da água disponível de uma Terra Roxa Estruturada Latossólica. **Scientia agrícola**, v. 50, p. 404-412, 1993.

MORIASI, D. N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 50, p. 885–900, 2007.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, v. 12, p. 512-522, 1976.

NASCIMENTO, G. B. et al. Funções de pedotransferência do conteúdo de água em Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos. **Agrária (UFPE. Impresso)**, v. 5, p. 560-569, 2010.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, p. 282-290, 1970.

NEMES, A. et al. Evaluation of the Rawls et al. (1982) Pedotransfer Functions for their Applicability at the U.S. National Scale. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, p. 1638-1645, 2009.

NETTLETON, W. D.; BRASHER, B. R. Correlation of Clay Minerals and Properties of Soils in the Western United States. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p. 1032-1036, 1983.

NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W.; ERH, K. T. Spatial variability of field measured soil water properties. **Hilgardia**, v. 42, p. 215-259, 1973.

NIELSEN, D. R.; SHAW, R. H. Estimation of the 15-atmosphere moisture percentage from hydrometer data. **Soil Science**, v. 86, p. 103-105, 1958.

NORGAARD, M. **Neural Network Based System Identification Toolbox**. [S.l.]: Department of Automation, Technical University of Denmark, 1997. 31 p. Tech. Report 97-E-851.

NUGROHO, K. Use of soil survey data for the determination of soil hydraulic function. **Indonesian Journal of Crop Science**, v. 8, p. 39-47, 1993.

OADES, J. M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, v. 5, p. 35-70, 1988.

OLIVEIRA, L. B. et al. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 315-323, 2002.

OLNESS, A.; ARCHER, D. Effect of organic carbon on available water in soil. **Soil Science**, v. 170, p. 90-101, 2005.

PACHEPSKY, Y. A.; MIRONENKO, E. V.; SCHERBAKOV, R. A. Prediction and use of soil hydraulic properties. In: VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; LUND, L. J. **Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils**. Riverside, CA: University of California, 1992. p. 203-212.

PACHEPSKY, Y. A.; RAWLS, W. J. Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1748-1757, 1999.

PACHEPSKY, Y. A.; TIMLIN, D.; VARALLYAY, G. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 727-733, 1996.

PACHEPSKY, Y. et al. Use of soil penetration resistance and group method of data handling to improve soil water retention estimates. **Soil and Tillage Research**, v. 49, p. 117-126, 1998.

PACHEPSKY, Y.; RAWLS, W. J.; TIMLIN, D. J. The current status of pedotransfer functions: their accuracy, reliability, and utility in field- and regional-scale modeling. In:

CORWIN, D. L. . L. K. . E. T. R. **Assessment of non-point source pollution in the vadose zone**. Washington, DC: American Geophysical Union, 1999. p. 223-234. Geophysical monograph 108.

PAES SOBRINHO, J. B. Mineralogia da fração argila de solos das serras do leste catarinense. Lages, CAV/UDESC, 2005. 68 f. Dissertação de Mestrado.

PAES SOBRINHO, J. B.; ALMEIDA, J. A. D.; ERHART, J. Mineralogia, propriedades químicas e classificação de solos das Serras do Leste Catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 8, p. 9-24, 2009.

PANDOLFO, C. et al. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2004. CD-ROM.

PAZ, A. M. et al. Funções de pedo-transferência para a curva de retenção da água no solo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 32, p. 337-343, 2009.

PERAZA, J. E. S. Retenção de água e pedofunções para solos do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 118 f. Dissertação de Mestrado.

PETACH, M. C.; WAGENET, R. J.; DEGLORIA, S. D. Regional water flow and pesticide leaching using simulations with spatially distributed data. **Geoderma**, v. 48, p. 245-269, 1991.

POGGIO, L. et al. Soil available water capacity interpolation and spatial uncertainty modeling at multiple geographical extents. **Geoderma**, v. 160, p. 175–188, 2010.

RAJKAI, K. et al. Estimation of water retention characteristics from the bulk density and particle-size distribution of Swedish soils. **Soil Science** , v. 161, p. 832-845, 1996.

RASIAH, V. Comparison of pedotransfer functions to predict nitrogen-mineralization parameters of one- and two-pool models. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 26, p. 1873-1884, 1995.

RASIAH, V.; KAY, B. D. Characterizing changes in aggregate stability subsequent to introduction of forages. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 935-942, 1994.

RATKOWSKY, D. A. **Handbook of Nonlinear Regression Models**. New York: Marcel Dekker, 1990. 241 p.

RAUBER, L. P. Atributos físicos, químicos e frações granulométricas da matéria orgânica de um solo em sistemas de uso com fertilizantes orgânicos. Lages, CAV/UDESC, 2011. 64f. Dissertação de Mestrado.

RAWLS, W. J. Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content. **Soil Science**, v. 135, p. 123-125, 1983.

RAWLS, W. J. et al. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, v. 116, p. 61-76, 2003.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L. Prediction of soil water properties for hydrologic modelling. In: JONES, E.; WARD, T. J. **Watershed Management in the Eighties. Proceedings of the Symposium of the ASCE. Denver.CO.** New York, NY: Am. Soc. Civil Engng., 1985. p. 293-299.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SAXTON, K. E. Estimation of soil water properties. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 25, p. 1316-1320, 1328, 1982.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SONI, B. Agricultural management effects on soil water processes. I. Soil water retention and Green and Ampt infiltration parameters. **Transactions of the ASAE**, v. 26, p. 1747-1752, 1983.

RAWLS, W. J.; GISH, T. J.; BRAKENSIEK, D. L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. **Advances in Soil Science**, v. 16, p. 213-234, 1991.

RAWLS, W. J.; NEMES, A.; PACHEPSKY, Y. A. Effect of soil organic carbon on soil hydraulic properties. In: PACHEPSKY, Y.; RAWLS, W. J. **Development of pedotransfer functions in soil hydrology.** Amsterdam: Elsevier, 2004. p. 95-114.

REICHERT, J. M. et al. Estimation of water retention and availability for Rio Grande do Sul soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1547-1560, 2009.

REICHERT, J. M. et al. Hidrologia do solo, disponibilidade de água as plantas e zoneamento agroclimático. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 1-54, 2011.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. L. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural**, v. 36, n.6, p. 1931-1935, 2006.

RICHARDS, L. Methods of measuring moisture tension. **Soil Science**, v. 58, p. 95-112, 1949.

RÖMKENS, M. J. M.; PRASAD, S.; POESEN, J. W. A. Soil erodibility and properties. **Transactions of the 8th Congress of the International Society of Soil Science**, Hamburg, p. 492-504, 1986.

RUBIO, C. M.; LLORENS, P.; GALLART, F. Uncertainty and efficiency of pedotransfer functions for estimating water retention characteristics of soils. **European Journal of Soil Science**, v. 59, p. 339-347, 2008.

SALTER, P. J.; BERRY, G.; WILLIAMS, J. B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. III. Quantitative relationships between particle size, composition and available water capacity. **Journal of Soil Science**, v. 17, p. 93-98, 1966.

SALTER, P. J.; WILLIAMS, J. B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. I A critical comparison for determining the available water capacity and moisture characteristics curve of a soil. **Journal of Soil Science**, v. 16, p. 1-15, 1965a.

SALTER, P. J.; WILLIAMS, J. B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. II Available water capacity and moisture release characteristics. **Journal of Soil Science**, v. 16, p. 310-317, 1965b.

SALTER, P. J.; WILLIAMS, J. B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. IV A method of estimating available water capacities of profiles in the field. **Journal of Soil Science**, v. 18, p. 174-181, 1967.

SALTER, P. J.; WILLIAMS, J. B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. V Relationships between particle-size composition and moisture contents at the upper and lower limits of available water. **Journal of Soil Science**, v. 20, p. 126-131, 1969.

SANTA CATARINA. GABINETE DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL. **Atlas de Santa Catarina**. Florianópolis: GPCG, 1986. 176 p.

SANTA CATARINA. SECRETARIA DO ESTADO E COORDENAÇÃO GERAL DO PLANEJAMENTO. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1991. 96 p.

SANTANA, C. A. et al. Qualidade do solo e produtividade de Pinus taeda no planalto catarinense. **Ciência Florestal (UFSM)**, v. 20, p. 629-640, 2010.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 100 p.

SARTORI, P. L. P.; GOMES, C. B. Composição químico-mineralógica das últimas manifestações vulcânicas da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 52, p. 125-133, 1980.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® 9.22 User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2010. 8445 p.

SAXTON, K. E. et al. Estimating generalized soil water characteristics from soil texture. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 1031-1036, 1986.

SAXTON, K. E.; RAWLS, W. J. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, p. 1569-1578, 2006.

SAXTON, K. E.; WILLEY, P. H. Agricultural wetland and pond hydrologic analyses using the SPAW model. **Conf. Proc., Selfsustaining solutions for streams, watersheds and wetlands**, 12-15 Sept. 2004. ASAE. St. Joseph, MI.

SAXTON, K. E.; WILLEY, P. H. Agricultural wetland and pond hydrologic calculations using the SPAW-II Model. **Conf. Proc., ASAE**, Toronto, ON, 18–21 July 1999. ASAE, St. Joseph, MI.

SAXTON, K. E.; WILLEY, P. H. The SPAW model for agricultural field and pond hydrologic simulation. In: SINGH, V. P.; FREVERT, D. K. **Watershed models**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006. p. 401–435.

SCHAAP, M. G.; BOUTEN, W. Modeling water retention curves of sandy soils using neural networks. **Water Resources Research**, v. 32, p. 3033-3040, 1996.

SCHAAP, M. G.; LEIJ, F. L.; VAN GENUCHTEN, M. T. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 847-855, 1998.

SCHABENBERGER, O. **Introducing the GLIMMIX Procedure for Generalized Linear Models**. SUGI 30. Cary, NC: SAS Institute, 2007.

SCHEINOST, A. C.; SCHWERTMANN, U. Predicting phosphate adsorption-desorption in a soilscape. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 1575-1580, 1995.

SCHEINOST, A. C.; SINOWSKI, W.; AUERSWALD, K. Regionalization of soil buffering functions: A new concept applied to K/Ca exchange curves. **Advances in GeoEcology**, v. 30, p. 23-38, 1997a.

SCHEINOST, A. C.; SINOWSKI, W.; AUERSWALD, K. Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soilscape, I. Developing a new pedotransfer function. **Geoderma**, v. 78, p. 129-143, 1997b.

SCHULTZ, D. P.; SCHULTZ, S. E. **História da psicologia moderna**. 16. ed. São Paulo: Cultrix, 1992. 439 p.

SILVA, A. P. et al. Funções de Pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1-10, 2008.

SILVA, A. S.; BRITO, L. T.; OLIVEIRA, C. A. & M. A. W. Parâmetros de solo em função da umidade na capacidade de campo em área irrigáveis do trópico semiárido Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, p. 103-116, 1990.

SILVA, L. F. S. D. et al. Avaliação de funções de pedotransferência para ajuste de curvas de retenção de água o solo. In: **XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 31., Fortaleza, 2009. Anais da..., Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

SMETTEM, K. R. J. et al. Obtaining soil hydraulic properties for water balance and leaching models from survey data. 1. Water retention. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, p. 283-289, 1999.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Characterization and Profile Description Data**. CD-ROM. Lincoln, NE: Soil Survey Laboratory, Natural Resources Conservation Service, USDA, 1995.

SOUTTER, M.; PANNATIER, Y. Groundwater vulnerability to pesticide contamination on a regional scale. **Journal of Environmental Quality**, v. 25, p. 439-444, 1996.

SOUZA, Z. M.; ET; AL. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 8, p. 51-58, 2004.

SPRINGOB, G.; BOTTCHER, J. Parameterization and regionalization of Cd sorption characteristics of sandy soils. II. Regionalization: Freundlich k estimates by pedotransfer functions. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 161, p. 689-696, 1998.

STIRK, G. B. Physical properties of soils of the lower Burdekin valley, North Queensland. **CSIRO Division of Soils Divisional Report 1/57**, CSIRO, Australia, 1957.

TAMARI, S.; WÖSTEN, J. H. M. Using artificial neural network to develop pedotransfer functions of soil hydraulic conductivity. In: VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; WU, L. **Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media**. Riverside: University of California, 1999. p. 1251-1260.

TAMARI, S.; WÖSTEN, J. H. M.; RUIZ-SUÁREZ, J. C. Testing an artificial neural network for predicting soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 1732- 1741, 1996.

TATE, K. R. Assessment, based on a climosequence of soils in tussock grasslands, of soil carbon storage and release in response to global warming. **Journal of Soil Science**, v. 43, p. 697-707, 1992.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de solos-UFRGS, 1995. 174 p.

TESKE, R. Relações solo – litologia numa sequência de solos desenvolvidos de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa Catarina. Lages, CAV/UDESC, 2010. 121 f. Dissertação de Mestrado.

TESSIER, D.; BIGORRE, F.; BRUAND, A. . La capacité d'échange: outil de prévision des sols. **C.R. Academy Agricultura France**, v. 85, p. 37-46, 1999.

TIETJE, O.; HENNINGS, V. Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedo-transfer functions compared to the variability within FAO textural classes. **Geoderma**, v. 69 , p. 71–84, 1996.

TIETJE, O.; TAPKENHINRICHS, M. Evaluation of pedo-transfer functions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 1088-1095, 1993.

TIKTAK, A.; LEIJNSE, A.; VISSENBERG, H. Uncertainty in a regional-scale assessment of cadmium accumulation in the Netherlands. **Journal of Environmental Quality**, v. 28, p. 461- 470, 1999.

TIMLIN, D. J.; AHUJA, L. R.; WILLIAMS, R. D. Methods to estimate soil hydraulic parameters for regional-scale applications of mechanistic models. In: CORWIN, D. L.; LOAGUE, K. **Application of GIS to the Modeling of Non-Point Source Pollutants in the Vadose Zone**. Madison: SSSA, 1996. SSSA Special Publication 48.

TOGNON, A. A.; DEMATTÊ, J. L. I.; DEMATTÊ, J. A. M. Teor e distribuição da matéria orgânica em Llatossolos das regiões da floresta Amazônica e dos Cerrados do Brasil Central. **Scientia Agricola**, v. 55, p. 1-9, 1998.

TOMASELLA, J. et al. Comparison of two techniques to develop pedotransfer functions for water retention. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 1085–1092, 2003.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. **Soil Science**, v. 163, p. 190-202, 1998.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G.; ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 327-338, 2000.

TORRENT, J. et al. Quantitative relationships between soil color and hematite content. **Soil Science**, v. 136, p. 354-358, 1983.

TYLER, S. W.; WHEATCRAFT, S. W. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, p. 987-996, 1989.

UFSC E SUDESUL. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de Santa Catarina (2. parte). **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v. 2, p. 249-459, 1972.

URACH, F. Estimativa da retenção de água para fins de irrigação., Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 78 f. Dissertação de Mestrado.

USDA. **Soil Survey Manual. USDA Handbook. v. 18**. Washington, DC: Government Printer, 1993. p. 136– 140.

USDA NATURAL RESOURCE CONSERVATION SERVICE. **National soil pedon database**. Lincoln, NE: USDA, 1994.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington: USDA, 1975. 436 p.

van ALPHEN, B. J.; BOOLTINK, H. W. G.; BOUMA, J. Combining pedotransfer functions with physical measurements to improve the estimation of soil hydraulic characteristics. **Geoderma**, v. 103, p. 133-147, 2000.

van DAM, J. C. et al. **SWAP version 2.0, Theory. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil- Water-Atmosphere-Plant environment**. Wageningen: DLO Winand Staring Centre, 1997. Technical Document 45.

van de GENACHTE, G. et al. Estimating infiltration parameters from basic soil properties. **Hydrological Processes**, v. 10, p. 687-701, 1996.

van den BERG, M. et al. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soils. **Geoderma**, v. 78, p. 161-180, 1997.

van GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

van GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. On estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. In: VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; LUND, L. J. **Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils**. Riverside, CA: University of California, 1992. p. 1-14.

VANCLOOSTER, M. et al. **WAVE, a mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and the vadose environment. Reference and user's manual, release 2.1. Inst. for Land and Water Management**. Leuven, Belgium: Catholic Univ. Leuven, 1996.

VEIGA, M. et al. Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a southern Brazilian Hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1437-1446, 2008.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRIKSON, A. H. The relation of soil moisture to cultivation and plant growth. **Proceedings of the 1st International Congress of Soil Science Washington**, v. 3, p. 498-513, 1927.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

VERECKEN, H. et al. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content. **Soil Science**, v. 148, p. 389-403, 1989.

VERECKEN, H.; DIELS, J.; FEYEN, J. Functional evaluation of pedo-transfer-functions for soil hydraulic properties. **Transactions of the 14th International Congress of Soil Science Kyoto**, v. 5, p. 533-534, 1990.

VEREECKEN, H.; DIELS, J.; VAN ORSHOVEN, J. Functional evaluation of pedotransfer for the estimation of soil hydraulic properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 1371- 1378, 1992.

VERHAGEN, J. Site specific fertiliser application for potato production and effects on Nleaching using dynamic simulation modeling. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 66, p. 165-175, 1997.

VERHAGEN, J.; BOUMA, J. Defining threshold values for residual soil N levels. **Geoderma**, v. 85, p. 199–211, 1998.

VIELMO, A. L. Limite superior da retenção da água no solo: método de campo e método de estimativa., Santa Maria, UFSM, 2008. 87 f. Dissertação de Mestrado.

VOGEL, T. et al. **The HYDRUS code for simulating water flow, solute transport, and heat movement in variably-saturated porous media. Version 5.0.** Riverside, CA: USSL, 1996. Research Rep. 140.

WILLIAMS, J. Physical properties and water relations: Soil hydrology. In: CSIRO; DIV.; SOILS. **Soils: An Australian Viewpoint.** Melbourne/London: CSIRO/Academic Press, 1983.

WILLIAMS, J. et al. The influence of texture, structure and clay mineralogy on the soil moisture characteristic. **Australian Journal of Soil Research**, v. 21, p. 15-32, 1983.

WILLIAMS, J.; ROSS, P. J.; BRISTOW, K. L. Prediction of the Campbell water retention function from texture, structure and organic matter. In: VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; LUND, L. J. **Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils.** Riverside, CA: University of California, 1992. p. 427-441.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.

WILLMOTT, C. J. On the evaluation of model performance in physical geography. In: GAILE, G. L.; WILLMOTT, C. J. **Spatial Statistics and Models.** Hingham, Mass.: D. Reidel, 1984. p. 443-460.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research - Oceans**, v. 90, p. 8995-9005, 1985.

WÖSTEN, J. H. M. Use of Soil Survey Data to Improve Simulation of Water Movement in Soils. Wageningen, University of Wageningen, 1990. Doctoral thesis.

WÖSTEN, J. H. M. et al. A procedure to identify different groups of hydraulic conductivity and moisture retention curves for soil horizons. **Journal of Hydrology**, v. 86, p. 133-145, 1986.

WÖSTEN, J. H. M. et al. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. **Geoderma**, v. 90, p. 169-185, 1999.

WÖSTEN, J. H. M.; FINKE, P. A.; JANSEN, M. J. W. Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. **Geoderma**, v. 66, p. 227-237, 1995.

WÖSTEN, J. H. M.; PACHEPSKY, Y. A.; RAWLS, W. J. Pedotransfer functions: bridging gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. **Journal of Hydrology**, v. 251, p. 123–150, 2001.

ANEXOS

ANEXO 1. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes superficiais de diferentes perfis de solo nas principais regiões no Estado de Santa Catarina, 2011.

Perfil de Solo	CC		Perfil de Solo	PMP	
		Serra			Leste
LVA (Rancho Queimado)	0,44	a*	LVA (Rancho Queimado)	0,30	a
LA (São Bonifácio)	0,40	b	LA (São Bonifácio)	0,27	a
PV (Içara)	0,35	c	PV (Içara)	0,21	b
PVA (Lauro Muller)	0,34	c	PVA (Lauro Muller)	0,20	b
PVA (Sangão)	0,21	d	PVA (Sangão)	0,12	c
		Planalto			Serrano
CH (Bom Jardim da)	0,71	a	CH (Bom Jardim da Serra)	0,51	a
RL (São Joaquim)	0,65	b	NB (Painel)	0,43	b
NB (Painel)	0,54	c	RL (São Joaquim)	0,39	bc
NV (Bocaina do Sul)	0,54	c	NV (Bocaina do Sul)	0,38	c
CH (Bom Retiro)	0,53	c	CH (Bom Retiro)	0,36	c
CH (Lages)	0,44	d	CH (Lages)	0,22	d
RL (Ponte alta 2)	0,28	e	RL (Ponte alta 2)	0,15	e
RL (Ponte alta)	0,23	e	RL (Ponte alta)	0,12	e
		Vale			do Itajaí
PVA (Massaranduba)	0,53	a	PVA (Massaranduba)	0,40	a
PVA (Blumenau)	0,43	b	PVA (Blumenau)	0,32	b
PA (Pomerode)	0,42	bc	PVA (Gaspar)	0,30	bc
PA (Botuverá)	0,41	bc	PA (Pomerode)	0,28	cd
PVA (Gaspar)	0,41	bc	PA (Botuverá)	0,27	cd
CX (Rio do Sul)	0,40	c	CX (Rio do Sul)	0,27	d
		Areias			Litorâneas
RQ (Araranguá)	0,18	a	RQ (Araranguá)	0,08	a
RQ (Araquari)	0,16	ab	RQ (Araquari)	0,07	a
RQ (Imbituba)	0,14	b	RQ (Imbituba)	0,05	b
		Encostas			Basálticas
NV (Luzerna)	0,52	a	NB (Luzerna)	0,42	a
NB (Luzerna)	0,52	a	NV (Luzerna)	0,40	ab
NV (Luzerna)	0,50	ab	NV (Luzerna)	0,38	ab
CX (Luzerna)	0,46	bc	CX (Luzerna)	0,35	bc
RL (Ipira)	0,45	bcd	NV (Ipira)	0,32	cd
PA (Ipira)	0,44	cde	RL (Ipira)	0,32	cd
NV (Ipira)	0,44	cdef	PA (Ipira)	0,31	cd
NV (Descanso)	0,40	defg	NV (Descanso)	0,31	cd
MT (Descanso)	0,40	efg	MT (Ipira)	0,27	de
MT (Ipira)	0,38	fg	MT (Descanso)	0,27	e
MX (Descanso)	0,38	g	MX (Descanso)	0,25	e
		Meio-			Oeste e Oeste
NB (Água Doce)	0,54	a	NB (Santa Cecília)	0,40	a
CH (Água Doce)	0,53	a	NB (Tangará)	0,39	ab
NB (Santa Cecília)	0,50	ab	NB (Ponte Serrada)	0,38	ab
LB (Vargeão)	0,49	bc	NB (Água Doce)	0,38	ab
NB (Ponte Serrada)	0,49	bc	CH (Água Doce)	0,37	ab
NB (Lebon)	0,47	bc	LB (Vargeão)	0,36	ab
NB (Tangará)	0,47	bc	NB (Curitibanos)	0,36	b
LV (Campos Novos)	0,47	bc	LV (Campos Novos)	0,35	b
NB (Curitibanos)	0,46	c	NB (Lebon)	0,35	b
LV (Faxinal dos Guedes)	0,41	d	LV (Pinhalzinho)	0,29	c
LV (Pinhalzinho)	0,40	d	LV (Faxinal dos Guedes)	0,28	c

* Letras minúsculas comparam os perfis de solo em cada região através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

ANEXO 2. Capacidade de campo (CC, $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) e ponto de murcha permanente (PMP, $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) em horizontes subsuperficiais de diferentes perfis de solo nas principais regiões no Estado de Santa Catarina, 2011.

Perfil de Solo	CC		Perfil de Solo	PMP	
Serra Leste					
PV (Içara)	0,48	a*	PV (Içara)	0,39	a
LVA (São Bonifácio)	0,46	a	LVA (São Bonifácio)	0,37	a
LA (Rancho Queimado)	0,41	b	LA (Rancho Queimado)	0,31	b
PVA (Lauro Muller)	0,36	c	PVA (Lauro Muller)	0,24	c
PVA (Sangão)	0,28	d	PVA (Sangão)	0,19	d
Planalto Serrano					
CH (Bom Jardim da	0,61	a	NB (Painel)	0,46	a
NB (Painel)	0,53	b	CH (Bom Jardim da Serra)	0,45	a
NV (Bocaina do Sul)	0,49	c	NV (Bocaina do Sul)	0,40	b
CH (Bom Retiro)	0,48	c	CH (Bom Retiro)	0,37	c
CH (Lages)	0,42	d	CH (Lages)	0,29	d
RL (Ponte alta)	0,24	e	RL (Ponte alta)	0,14	e
Vale do Itajaí					
PVA (Massaranduba)	0,57	a	PVA (Massaranduba)	0,46	a
PA (Botuverá)	0,52	b	PA (Botuverá)	0,43	ab
PVA (Gaspar)	0,50	b	PVA (Gaspar)	0,42	ab
PVA (Blumenau)	0,49	b	PVA (Blumenau)	0,41	b
PA (Pomerode)	0,48	bc	PA (Pomerode)	0,35	c
CX (Rio do Sul)	0,43	c	CX (Rio do Sul)	0,33	c
Areias Litorâneas					
RQ (Araquari)	0,24	a	RQ (Araquari)	0,14	a
RQ (Araranguá)	0,19	b	RQ (Imbituba)	0,08	b
RQ (Imbituba)	0,17	b	RQ (Araranguá)	0,07	b
Encostas Basálticas					
MT (Ipira)	0,58	a	NV (Ipira)	0,49	a
NV (Ipira)	0,57	a	NB (Luzerna)	0,48	a
NB (Luzerna)	0,55	a	MT (Ipira)	0,47	ab
MX (Descanso)	0,55	ab	MX (Descanso)	0,46	abc
NV (Luzerna)	0,54	abc	PA (Ipira)	0,45	abcd
PA (Ipira)	0,53	abc	NV (Luzerna)	0,43	abcd
NV (Luzerna)	0,50	bc	NV (Luzerna)	0,40	cd
NV (Descanso)	0,49	c	NV (Descanso)	0,39	d
CX (Luzerna)	0,47	c	CX (Luzerna)	0,39	bcd
MT (Descanso)	0,39	d	MT (Descanso)	0,29	e
Meio-Oeste e Oeste					
CH (Água Doce)	0,56	ab	NB (Tangará)	0,49	a
NB (Ponte Serrada)	0,56	a	NB (Lebon)	0,45	b
NB (Água Doce)	0,55	ab	NB (Ponte Serrada)	0,45	b
NB (Tangará)	0,55	abc	NB (Água Doce)	0,44	b
NB (Lebon)	0,53	bcd	NB (Santa Cecília)	0,44	b
LV (Campos Novos)	0,53	cde	CH (Água Doce)	0,43	bc
NB (Santa Cecília)	0,52	de	NB (Curitibanos)	0,43	b
NB (Curitibanos)	0,50	ef	LV (Campos Novos)	0,43	b
LV (Pinhalzinho)	0,49	fg	LB (Vargeão)	0,39	cd
LB (Vargeão)	0,48	fg	LV (Pinhalzinho)	0,38	de
LV(Faxinal dos Guedes)	0,48	g	LV (Faxinal dos Guedes)	0,36	e

* Letras minúsculas comparam os perfis de solo em cada região através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

ANEXO 3. Conteúdo de água disponível (AD, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em horizontes superficiais e subsuperficiais de diferentes perfis de solo nas principais regiões no Estado de Santa Catarina, 2011.

Perfil de Solo - Superfície	AD		Perfil de Solo - Subsuperfície	AD	
Serra Leste					
PVA (Lauro Muller)	0,14	a*	PVA (Lauro Muller)	0,12	a
LA (Rancho Queimado)	0,14	a	LA (Rancho Queimado)	0,10	b
PV (Içara)	0,14	ab	LVA (São Bonifácio)	0,09	bc
LVA (São Bonifácio)	0,12	b	PV (Içara)	0,09	bc
PVA (Sangão)	0,08	c	PVA (Sangão)	0,08	c
Planalto Serrano					
RL (São Joaquim)	0,25	a	CH (Bom Jardim da Serra)	0,15	a
CH (Lages)	0,21	b	CH (Lages)	0,13	b
CH (Bom Jardim da Serra)	0,21	b	NV (Bocaina do Sul)	0,10	c
CH (Bom Retiro)	0,17	c	CH (Bom Retiro)	0,10	c
NV (Bocaina do Sul)	0,15	c	RQ (Ponte alta)	0,09	cd
RQ (Ponte alta)	0,12	d	NB (Painel)	0,07	d
RQ (Ponte alta)	0,12	d			
NB (Painel)	0,11	d			
Vale do Itajaí					
PA (Pomerode)	0,14	a	PA (Pomerode)	0,13	a
PA (Botuverá)	0,14	a	PVA (Massaranduba)	0,11	b
PVA (Massaranduba)	0,13	ab	CX (Rio do Sul)	0,09	c
CX (Rio do Sul)	0,13	ab	PA (Botuverá)	0,09	cd
PVA (Blumenau)	0,11	b	PVA (Blumenau)	0,09	cd
PVA (Gaspar)	0,10	b	PVA (Gaspar)	0,08	d
Areias Litorâneas					
RQ (Araranguá)	0,10	ns	RQ (Araranguá)	0,12	a
RQ (Imbituba)	0,09		RQ (Araquari)	0,10	ab
RQ (Araquari)	0,09		RQ (Imbituba)	0,09	b
Encostas Basálticas					
RL (Ipira)	0,15	a	NV (Luzerna)	0,11	a
PA (Ipira)	0,14	ab	MT (Descanso)	0,10	a
MX (Descanso)	0,13	ab	MT (Ipira)	0,10	a
MT (Descanso)	0,13	ab	NV (Descanso)	0,10	ab
NV (Ipira)	0,13	abc	NV (Luzerna)	0,10	ab
MT (Ipira)	0,13	abc	CX (Luzerna)	0,09	abc
NV (Luzerna)	0,13	abc	MX (Descanso)	0,09	abc
NV (Luzerna)	0,12	bc	PA (Ipira)	0,09	abc
NB (Luzerna)	0,11	cd	NV (Ipira)	0,08	bc
CX (Luzerna)	0,11	cd	NB (Luzerna)	0,07	c
NV (Descanso)	0,09	d			
Meio- Oeste e Oeste					
NB (Água Doce)	0,16	a	CH (Água Doce)	0,13	a
CH (Água Doce)	0,16	a	LV (Faxinal dos Guedes)	0,11	ab
LB (Vargeão)	0,13	b	LV (Pinhalzinho)	0,11	abc
LV (Faxinal dos Guedes)	0,13	bc	NB (Ponte Serrada)	0,11	abc
NB (Lebon)	0,12	bcd	NB (Água Doce)	0,11	bc
LV (Campos Novos)	0,12	cde	LV (Campos Novos)	0,10	c
LV (Pinhalzinho)	0,11	de	LB (Vargeão)	0,09	d
NB (Curitibanos)	0,11	e	NB (Lebon)	0,08	d
NB (Ponte Serrada)	0,11	e	NB (Curitibanos)	0,07	d
NB (Santa Cecília)	0,10	ef	NB (Santa Cecília)	0,07	d
NB (Tangará)	0,09	f	NB (Tangará)	0,06	e

* Letras minúsculas comparam os perfis de solo em cada região através do teste DMS (Prob. $F < 0,05$).

ANEXO 4- Descrição geral e morfológica dos perfis de solo analisados neste Estudo

PERFIL 1- Argissolo Amarelo Alítico típico.....	308
PERFIL 2- Argissolo Amarelo Distrófico típico.....	310
PERFIL 3- Argissolo Vermelho Distrófico abruptico.....	312
PERFIL 4- Argissolo Amarelo Eutrófico típico.....	314
PERFIL 5- Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico.	315
PERFIL 6 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico (Blumenau).	317
PERFIL 7- Argissolo Vermelho Amarelo Alumínico típico (Gaspar).....	319
PERFIL 8- Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico.	321
PERFIL 9- Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.	323
PERFIL 10- Cambissolo Háplico Alítico típico.....	325
PERFIL 11- Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico.....	326
PERFIL 12- Cambissolo Húmico Alumínico típico.	327
PERFIL 13- Cambissolo Húmico Alumínico típico.	328
PERFIL 14- Cambissolo Húmico Distrófico organossólico.....	329
PERFIL 15- Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico.	331
PERFIL 16- Chernossolo Argilúvico Férrico típico (Descanso).	333
PERFIL 17- Chernossolo Argilúvico Férrico típico (Ipira).	334
PERFIL 18- Chernossolo Háplico Férrico típico.	335
PERFIL 19- Latossolo Amarelo Distrófico argissólico.	336
PERFIL 20- Latossolo Bruno Distrófico nitossólico húmico.....	338
PERFIL 21- Latossolo Vermelho Distroférico Húmico.	340
PERFIL 22- Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico.	342
PERFIL 23- Latossolo Vermelho Eutroférico típico.....	344
PERFIL 24- Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico.	345
PERFIL 25- Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico.....	347
PERFIL 26- Neossolo Litólico Distrófico típico.....	348
PERFIL 27- Neossolo Litólico Húmico típico (Ponte Alta).	349
PERFIL 28- Neossolo Litólico Húmico típico (São Joaquim).....	350
PERFIL 29- Neossolo Quartzârenico Órtico típico (Araquari).....	351
PERFIL 30- Neossolo Quartzârenico Órtico típico (Araranguá).	352

PERFIL 31- Neossolo Quartzârenico Órtico típico (Imbituba).....	353
PERFIL 32– Nitossolo Bruno Alumínico rúbrico.....	354
PERFIL 33- Nitossolo Bruno Distroférrico húmico.	356
PERFIL 34- Nitossolo Bruno Distroférrico típico (Luzerna).....	358
PERFIL 35– Nitossolo Bruno Distroférrico típico (Santa Cecília).....	360
PERFIL 36– Nitossolo Bruno Distroférrico típico.....	362
PERFIL 37– Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbrico (Curitibanos).	364
PERFIL 38– Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbrico (Ponte Serrada).....	366
PERFIL 39– Nitossolo Bruno Distrófico rúbrico.....	368
PERFIL 40– Nitossolo Bruno Distrófico típico.	370
PERFIL 41- Nitossolo Vermelho Alumínico húmico.	372
PERFIL 42- Nitossolo Vermelho Eutroférrico chernossólico.	373
PERFIL 43- Nitossolo Vermelho Eutroférrico típico.....	374
PERFIL 44- Nitossolo Vermelho Eutrófico típico.	376

PERFIL 1- Argissolo Amarelo Alítico típico.

DATA: 13 de setembro de 2007.

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Amarelo Alítico típico.

LOCALIZAÇÃO - Rodovia Brusque –Botuverá próximo a Botuverá, SC.

COORDENADA - S 27° 11' 34,07"; W 49° 03' 50,43".

ALTITUDE - 89 metros (GPS).

LITOLOGIA - Granada Muscovita Xisto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Sequencia terrigena ou sequencia vulcano sedimentar

CRONOLOGIA – Inferior, Complexo Metamórfico Brusque.

MATERIAL DE ORIGEM - Produtos de alteração dos xistos, com provável contribuição de material retrabalhado proveniente das porções mais altas.

PEDREGOSIDADE - Não Pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

SITUAÇÃO DECLIVE/COBERTURA - Terço inferior da encosta com 30° de declive, coletado e descrito em corte de aterro para construção de moradia, lado direito.

RELEVO LOCAL - Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO - Primária, ombrófila densa (mata atlântica).

USO ATUAL - sem uso.

CLIMA - Cfa.

DESCRITO E COLETADO POR - Italomir Bringhenti, Jaime Antonio de Almeida, Andrey Hofer.

Descrição Morfológica

A 0 – 25 cm, bruno escuro, (úmida 10YR4/3) -cinzento-brunado-claro (seca 10YR6/2); franco-argilo-arenosa moderada a fraca, média a pequena, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

BA 25 – 52 cm, bruno amarelado escuro (úmida: 10YR4/4); franco argilosa; moderada a média, prismática que se desfaz em moderada a fraca, blocos subangulares e angulares; cerosidade moderada e comum entre os prismas nas faces dos prismas e fraca e pouca nas faces dos blocos; ligeiramente dura, friável, plástico, pegajoso; transição gradual e plana.

Bt1 52 – 97 cm, bruno amarelado escuro (úmida: 10YR 4/6); argila; moderada a média, blocos sub angulares e angulares e moderada a fraca, prismática; cerosidade moderada e comum entre os prismas nas faces dos prismas e fraca e pouca nas faces dos blocos; dura, muito firme, plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

Bt2 97 - 125 cm, bruno amarelado escuro (10YR 4/6); argila; moderada média, blocos subangulares e angulares; muito dura, muito firme, plástico, pegajoso; transição clara e plana.

BC 125 – 200 cm +, bruno forte a vermelho amarelado (úmida: 6,5YR 5/8); muito argilosa; moderada, pequena, blocos sub-angulares e angulares; muito dura, muito firme, plástico, pegajoso; transição gradual e plana.

C 350 - 400 cm, vermelho-amarelado (úmida 5YR5/8); argila; fraca, grande, blocos sub-angulares e angulares; muito dura, muito firme, plástico, pegajoso.

R – coletado a 10 metros de profundidade

RAÍZES- Muitas médias finas, poucas grossas no horizonte A; comuns médias finas no BA e Bt1; poucas médias finas no Bt2; raras no BC; ausente no C.

Obs: Perfil coletado em dia de sol, presença de fragmentos centimétricos de quartzitos nos horizontes B1 e B2 e abundantes blocos de micaxisto alterado centimétricos a decimétricos no horizonte BC.

PERFIL 2- Argissolo Amarelo Distrófico típico.

DATA: 11 de setembro de 2007.

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Amarelo Distrófico típico.

LOCALIZAÇÃO - Rodovia SC- 416 Timbó-Pomerode, entrando a esquerda, prosseguindo 3 km até o topo do morro, em estrada vicinal aproximadamente 8 km após Timbó, no município de Pomerode, SC.

COORDENADA - S 26° 44' 18,16"; W 49° 13' 40,19".

ALTITUDE - 342 metros (GPS).

LITOLOGIA - Hornblendito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - .

CRONOLOGIA – Superior, Complexo Granulítico de Santa Catarina.

MATERIAL DE ORIGEM - Produtos da decomposição das rochas supracima citadas, com possível retrabalhamento do mesmo.

MATERIAL DE ORIGEM mais superficial.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Ligeiramente rochoso.

SITUAÇÃO DECLIVE/COBERTURA - Topo de elevação.

RELEVO LOCAL - Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - Ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem a moderadamente drenados.

VEGETAÇÃO - Primária, ombrófila densa (mata atlântica).

USO ATUAL - Introdução de Palmito Jussara Mata nativa.

CLIMA - Cfa.

DESCRITO E COLETADO POR - Italomir Bringhenti, Jaime Antonio de Almeida, Andrey Hofer.

Descrição Morfológica

A 0 – 15 cm, bruno (10YR4/3, úmida e 10YR5/3, seca); franco-argiloarenosa; moderada, média e grande, granular; ligeiramente dura, friável, plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.

BA 15 – 28 cm, bruno amarelado escuro (10YR4/4, úmida); franco argilosa; moderada a fraca, média, blocos sub-angulares; dura, friável a firme, plástico, pegajoso; transição clara e ondulada.

Bt 28 – 100/110 cm, bruno amarelado escuro/ bruno amarelado (10YR 4/4, úmida); franco argilosa; moderada, grande muito grande, prismática; cerosidade moderada comum recobrando as faces inteiras dos agregados; muito dura, firme, plástico, pegajoso; transição clara e ondulada.

BC 100/110-175/180 cm, bruno amarelado (10YR 5/6, úmida); franco argilosa; moderada, grande, prismática que se desfaz em moderada a fraca, blocos angulares; cerosidade moderada comum nas faces dos prismas; dura, firme, plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.

C 175/180-220/225 cm, mesclado de bruno amarelado (10YR 5/6, 2,5Y4/4, 7,5YR5/8, úmida); franco-argiloarenosa; aspecto de maciço que se desfaz em fraca muito grande, blocos angulares; ligeiramente dura, firme, plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.

CR 220/225-240 cm +, mesclado de bruno forte (7,5YR 5/6, úmida) com manchas pretas de óxido de manganês; maciça; ligeiramente dura, friável a firme; transição gradual e plana.

RAÍZES- Muitas médias finas no horizonte A; comuns médias finas no BA e Bt; poucas médias finas no BC; raras no C; ausentes no CR.

Obs.: Perfil coletado em dia de sol, presença de material micáceo fino nos horizontes BC e C, presença de deposição de manganês na superfície dos agregados dos horizontes BC, C e CR, sendo abundantes no CR. Não foi observada a rocha abaixo do CR no perfil. Fragmentos do CR no BC. Cerosidade no B moderada comum recobrindo as faces inteiras dos agregados. No BC moderada comum nas faces dos prismas.

PERFIL 3- Argissolo Vermelho Distrófico abruptico.

DATA: 06 / 08 / 2003

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Vermelho Distrófico abruptico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO -

LOCALIZAÇÃO - Rodovia de acesso da estrada entre Cocal-Criciúma até um trevo próximo a Içara, a 7 km daquela rodovia, bem no trevo, barranco de exposição Sul, reflorestamento de eucalipto, (rebrote), Içara, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – coletado em topo de elevação, com declive aproximado de 55 e cobertura de eucalipto.

COORDENADA– 28°43 '37,85"S; 49°17 '43,54"W.

ALTITUDE - 33 metros.

LITOLOGIA – Siltitos e arenitos frios.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Rio Bonito.

CRONOLOGIA – Médio do Permiano, Grupo Guatá (Super Grupo Tubarão).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto da alteração de Siltitos com possível contribuição de arenitos.

PEDROGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - Suave ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Original Mata Atlântica.

USO ATUAL - Reflorestamento de Eucalipto.

CLIMA – Cfa (Koeppen)

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Álvaro Luiz Mafra, João Bosco Paes Sobrinho e Joni Ehrart.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 - 10 cm, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido) e bruno-claro (7.5YR 6/4, seco); franco argilo arenosa; fraca média e pequena blocos subangulares; ligeiramente duro, friável; plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

A2 10 - 23 cm, vermelho-escuro (2.5YR 3/6, úmido) e bruno-avermelhado (5YR 4.5/6, seco); franco argilo arenosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente duro a duro, friável, plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

A3 23 - 33 cm, bruno-avermelhado-escuro (2.5YR 3/4, úmido) e vermelho-amarelado(5YR 5/6, seco); franco argilo arenosa; fraca pequena e médios blocos subangulares; ligeiramente dura, friável a firme; plástica e não pegajosa; transição clara e plana.

BA1 33 - 60 cm, bruno-avermelhado-escuro (2.5YR 3/4, úmido); franco argilo arenosa, moderada média pequena blocos subangulares; ligeiramente duro, friável a firme; plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

BA2 60 - 90 cm, vermelho-escuro (2.5YR 2.5/4, faces mais escuras 2.5YR 2.5/3); franco argilo arenosa; forte grande média blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, firme; plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

B1 90 - 122 cm, vermelho-escuro (2.5YR 3/6, faces mais escuras 2.5YR 2.5/4); franco argilosa; forte grande média; bloco subangular e angular; ligeiramente dura a dura, firme; plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

B2 122 - 150 cm, vermelho (10R 4/6, faces mais escuras vermelho-escuro-acinzentado 10R 3/3 e 3/4); franco argilosa; moderada grande blocos subangular e angulares; dura, muito firme; plástica e ligeiramente pegajosa; cerosidade forte e abundante; transição gradual e plana.

B3 150 - 200 + cm, vermelho (10R 4/8, faces mais escuras vermelho-escuro-acinzentado 10R 3/6 e vermelho-escuro 10R 3/4); franco argilo arenosa; moderada blocos subangulares e angulares; dura, firme; plástica e ligeiramente pegajosa.

Cr- franco argilosa, plástica e ligeiramente pegajosa.

PERFIL 4- Argissolo Amarelo Eutrófico típico.

DATA: 24/07/97.

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Amarelo Eutrófico típico.

UNIDADE MAPEAMENTO - Ciríaco - Charrua (UFSM & SUDESUL, 1973)

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Rodovia Piratuba - Peritiba, a 5 km do Rio do Peixe, em Ipira, SC.

COORDENADA- 27°23 '45,11"S; 51°48 '8,6"W.

ALTITUDE - 584 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Descrito e coletado em barranco de corte de estrada.

LITOLOGIA - Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do basalto, com forte contribuição de material coluvial no A, BA e Bt, composto de fragmentos de basalto semi-intemperizados.

PEDREGOSIDADE - Pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL - Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

USO ATUAL - Mata nativa.

CLIMA - Cfb (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio Almeida, Janaina Corrêa e Joelcio Gmach.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA.

A 0 —25/30 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmido), e (7,5YR 3/4, seco); franco argilosa, fraca muito pequena granular; macio, muito, friável transição clara e ondulada.

2BA 25/30 - 50/60 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido e 5YR 3/4, seco); muito argilosa, moderada pequena granular; ligeiramente duro, muito friável, transição clara e ondulada.

3Bt 50/60 – 112 cm+, bruno aveinielhado escuro (2,5YR 2,5/4, úmido) e veimelho escuro (2,5YR 3/6, seco); argilosa; moderada muito pequena em blocos subangulares; cerosidade comum moderada; superfícies de compressão comuns; duro, friável.

OBSERVAÇÕES - Não foi possível coletar a rocha substrato, pois não ocorreu no barranco, porém coletou-se em área logo abaixo, em duas situações, rocha com núcleo intacto e crosta da rocha alterada.

PERFIL 5- Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico.

DATA: 12 de setembro de 2007.

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico.

LOCALIZAÇÃO - Comunidade de 7 de Janeiro. Massaranduba. 4 km da Rodovia SC-419 entre os municípios de Luís Alves-Blumenau, situado no município de Massaranduba, SC.

COORDENADA - S 26° 40' 56,74"; W 49° 00' 31,612".

ALTITUDE - 148 metros (GPS).

LITOLOGIA - Granulito Máfico.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA -

CRONOLOGIA – Superior, Complexo Granulítico de Santa Catarina.

MATERIAL DE ORIGEM - Produtos da decomposição das rochas supra citadas, com possível influência de material retrabalhado previamente intemperizado.

PEDREGOSIDADE - Ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE - Ligeiramente rochoso.

SITUAÇÃO DECLIVE/COBERTURA - Base da encosta em posição de pedimento, 25% declive, cobertura de mata secundária nativa.

RELEVO LOCAL - Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - moderadamente drenados.

VEGETAÇÃO - Primária, ombrófila densa (mata atlântica).

USO ATUAL - Capoeira.

CLIMA - Cfa

DESCRITO E COLETADO POR - Italomir Bringhenti, Jaime Antonio de Almeida, Andrey Hofer.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 – 20 cm, bruno acinzentado escuro (10YR4/2, úmida e 10YR5/2, seca); franco argilosa; moderada, média e grande, granular, fraca a média blocos sub angulares; ligeiramente dura, friável, plástico, pegajoso; transição abrupta e plana.

BA 20 – 32 cm, bruno amarelado (10YR5/4, úmida); argila; fraca a moderada, média, blocos sub-angulares; cerosidade moderada e comum; ligeiramente dura, friável a firme, plástico, pegajoso; transição gradual e plana.

Bt1 32 – 46 cm, bruno (7,5YR 5/4, úmida); argila; fraca a moderada, média, blocos sub-angulares; cerosidade moderada e comum; dura, friável a firme, plástico, pegajoso; transição gradual e plana.

Bt2 46 - 80 cm, bruno forte (7,5YR 5/6, úmida); argila; moderada a média, prismática que se desfaz em blocos angulares e sub angulares, média a grande; cerosidade moderada e comum entre os prismas e moderada e pouca entre os blocos; dura, firme, ligeiramente plástica, pegajosa; transição gradual e plana.

Bt3 80 - 122 cm, bruno forte (7,5YR, 5/8 úmida); argila; moderada a média, prismática que se desfaz em blocos angulares e sub angulares, média a grande; cerosidade moderada e

comum entre os prismas e moderada e pouca entre os blocos; muito dura, friável a firme, plástica, ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

BC 122-170/180 cm, amarelo avermelhado (7,5YR 6/8, úmida); franco argilosa; fraca, média a grande, blocos sub angulares; dura, friável a firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição: clara e ondulada.

C/CR 170/180 – 190+

RAÍZES- Muitas médias finas poucas grossas no horizonte A; comuns médias finas no BA; poucas medias finas no Bt1, Bt2 e Bt3; raras médias no BC.

Obs.: Perfil coletado em dia de sol. O contato do horizonte BC com a rocha não é contínuo apresentando partes com saprólito aparente e a maior parte do contato com rocha parcialmente fragmentada caracterizando um contato litóide. .Alguns fragmentos centimétricos de SiO₂ no Bt1, Bt2 e BC. Fragmentos decimétricos de rocha bastante alterada (caulinizada) no Bt2, Bt3 e BC.

PERFIL 6 - Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico (Blumenau).

DATA: 13 de setembro de 2007.

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico.

LOCALIZAÇÃO - Rodovia SC 474, Blumenau-Joinville via Massaranduba, próximo a Itoupava, município de Blumenau, SC.

COORDENADA - S 26° 47' 52,77"; W 49° 05' 20,3".

ALTITUDE - 46 metros (GPS).

LITOLOGIA - Granulito Máfico.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA -

CRONOLOGIA – Superior, Complexo Granulítico de Santa Catarina.

MATERIAL DE ORIGEM - Produtos da decomposição das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

SITUAÇÃO DECLIVE/COBERTURA - 1/3 médio da encosta, próximo ao fundo do vale, em relevo residual ondulado, 10% de declive. Cobertura de mata secundária.

RELEVO LOCAL - Ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado e Montanhoso.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Moderadamente a médio drenados evidenciado por manchas amareladas que expressão pouca mobilidade de água no perfil e manchas de redução Goethização.

VEGETAÇÃO - Primária, ombrófila densa (mata atlântica).

USO ATUAL - Sem uso no local, no entorno pouca atividade agrícola no entorno, porém densamente antropizada(urbanizada) as margens da rodovia, localizada a 200 metros do perfil.

CLIMA - Cfa

DESCRITO E COLETADO POR - Italomir Bringhenti, Jaime Antonio de Almeida, Andrey Hofer.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 – 12 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR4/3, úmida) bruno-claro acinzentado (10YR6/3,seca);franco-argilo-arenosa; moderada, pequena média, granular; macia friável, ligeiramente plástica ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

AB 12 – 32 cm, bruno - amarelado (10YR5/6, úmida); franco-argilo-arenosa moderada, média, granular, moderada pequena, blocos sub-angulares; ligeiramente dura, firme, plástico, pegajoso; transição clara e plana.

BA 32 – 65 cm, bruno-amarelado (10YR 5/8,úmida); franco-argilosa; fraca, pequena muito pequena blocos sub-angulares; Cerosidade moderada e comum ;Consistência firme ligeiramente dura; firme ligeiramente plástica ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

Bt1 65 - 90 cm, bruno - amarelado (10YR 5/8, úmida); argila; fraca, pequena muito pequena, blocos sub-angulares; ligeiramente dura, muito firme, plástico pegajoso; transição difusa e plana.

Bt2 90 - 162 cm, bruno amarelado a bruno forte (9YR 5/6,úmida); argila; fraca a moderada, média a pequena, blocos sub-angulares e angulares; ligeiramente dura, firme, plástico pegajoso; transição difusa e plana.

Bt3 162-275 cm, bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida), com manchas pretas de óxido de manganês; fraca a moderada, pequena, blocos sub-angulares; ligeiramente dura, muito firme, plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

BC 275-335 cm, vermelho amarelado a vermelho (4YR 5/8,úmida); argila; com manchas pretas de oxido de manganês; moderada, média a grande, blocos subangulares e angulares; ligeiramente dura, muito firme, plástico e pegajoso; transição abrupta e plana.

C 335 cm +, vermelho (úmida. 2,5YR 5/6);franco-argilosa; com manchas pretas de óxido de manganês; muito firme, ligeiramente dura.

RAÍZES- Muitas pequenas médias no horizonte A e AB; comuns no BA e Bt1; ausentes no Bt2,Bt3 e BC.

Obs.: Perfil coletado em dia de sol, porem o local estava sombreado. Manchas de redução de ferro nos horizontes Bt2 e Bt3. Manchas esbranquiçadas no horizonte BC. Alguns fragmentos centímetros de quartzo ao longo do horizonte B.

PERFIL 7- Argissolo Vermelho Amarelo Alumínico típico (Gaspar).

DATA: 13 de setembro de 2007.

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Vermelho Amarelo Alumínico típico.

LOCALIZAÇÃO - Rodovia SC-Gaspar- Brusque próximo a área urbanizada, lado direito, município de Gaspar, SC.

COORDENADA - S 26° 59' 38,95" W 48° 54' 10,34".

ALTITUDE - 60 metros (GPS)

LITOLOGIA - Para metamórfica

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Sequência terrígena ou sequência vulcano sedimentar.

CRONOLOGIA – Inferior, Complexo Metamórfico Brusque.

MATERIAL DE ORIGEM - Produtos da decomposição das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

Situação declive/cobertura - Terço inferior da encosta com aproximadamente 15% de declive.

RELEVO LOCAL - Ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

EROSÃO - Não aparente na região, as áreas cultivadas sofrem intensa erosão hídrica em sulcos e laminar, geralmente removendo quase todo o pouco espesso horizonte A.

DRENAGEM - Moderadamente drenado, indicado por manchas de redução de ferro.

VEGETAÇÃO - Primária, Floresta ombrófila densa (mata atlântica).

USO ATUAL - Sem uso, porém seu entorno bastante urbanizado.

CLIMA - Cfa

DESCRITO E COLETADO POR: Italomir Bringhenti, Jaime Antonio de Almeida, Andrey Hofer.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 – 18/22 cm, bruno escuro, (10YR3/3, úmida) – cinzento-brunado claro (10YR6/2, seca); franco-argilo-arenosa; fraca pequena e muito pequena, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica não pegajosa; transição clara e ondulada.

BA 18/22 – 50/53 cm, bruno-forte (7,5YR5/6, úmida); argilo-arenosa; fraca a moderada, média, blocos subangulares; cerosidade cutâneas moderados recobrimo porções das faces dos agregados; ligeiramente dura, friável, plástica, ligeiramente pegajosa; transição gradual e ondulada.

Bt1 50/53 – 72 cm, bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida); franco-argilosa; moderada a fraca, grande e média, blocos subangulares; cerosidade fraca e comum; dura friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição gradual plana.

Bt2 72 - 100 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); argila; moderada a fraca, média, prismática se desfaz em moderada a fraca, média e pequena; cerosidade fraca e comum; dura, firme, plástica, pegajosa; transição gradual e plana ondulada.

Bt3 100 - 150 cm, vermelho amarelado a vermelho escuro (4YR 5/8, úmida); argila; moderada a grande, prismática que se desfaz em moderada média a pequena, blocos subangulares; cerosidade argila de compressão; dura, firme, plástico pegajosa; transição gradual e plana.

BC 150-220 cm +, vermelho (2,5YR 5/8, úmida); argila com manchas pretas de óxido de manganês; moderada a fraca, média e pequena, blocos subangulares; dura, firme, plástico pegajoso; transição difusa e plana.

RAÍZES - Muitas pequenas e médias no horizonte A; comuns, pequenas médias no BA e Bt1; poucas pequenas no Bt2 e Bt3; raras no BC.

Obs.: Perfil coletado em dia de sol, com incidência direta de sol no perfil. Intensas atividades de formigas no horizonte BC e em todo o horizonte B. Manchas de redução reprecipitação de ferro, dissolução seletiva de hematita goethita principalmente ao redor dos canais de raízes e nas fendas de contração, a partir do horizonte Bt2, intensificando-se no horizonte BC. Quantidade expressiva de fragmentos de cascalho (2 cm) .Grão de quartzo e feldspatos constituindo a matriz do horizonte B, sendo muita expressiva sua quantidade no horizonte A

PERFIL 8- Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico.

DATA: 06 / 08 / 2003

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO -

LOCALIZAÇÃO - Rodovia SC-438 trecho Orleans-Lauro Muller, entrando 500 metros à direita 3 km após a ponte Lauro Muller, lado direito, Lauro Muller, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Coletado em meia encosta, em declive aproximado de 12% e cobertura de gramíneas e eucalipto.

COORDENADA– 28°23 '25,29"S; 49°22 '5,27"W.

ALTITUDE - 245 m.

LITOLOGIA – Arenitos e siltitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA –Rio bonito

CRONOLOGIA – Médio do Permiano, Grupo Guatá (Super Grupo Tubarão).

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto da alteração de arenitos róseos com mistura de siltitos; não há evidencia de retrabalhamento.

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA –

USO ATUAL – Reflorestamento com Eucalipto.

CLIMA – Cfa (Koeppen)

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Álvaro Luiz Mafra, João Bosco Paes Sobrinho e Joni Ehrart.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 13 cm, bruno escuro(7.5YR 3.5/3 úmido) e bruno-claro acinzentado (10YR 6/3, seco);franco argilo arenoso; fraca a moderada média a granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

AB 13 - 25 cm, bruno forte (7.5YR 5/6 úmido com faces mais escuras bruno-escuro,7.5YR 4/3) e bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seco); franco argilosa; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

BA 25 - 57 cm, bruno-forte (7.5YR 5/8, úmido); franco argilo arenosa; fraca a moderada média blocos subangulares; ligeiramente dura, friável e firme; cerosidade fraca e pouca, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana.

B1 57 - 104 cm, bruno forte (6.5YR 5/8, úmido); franco argilo arenosa; fraca a moderada média grande bloco subangular; ligeiramente dura; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana, cerosidade moderada e pouca.

B2 104 - 139 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido); franco argilo arenosa; fraca a moderada; média e grande blocos subangulares; ligeiramente dura, friável a firme, cerosidade moderada e pouca, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

BC 139 - 148/155 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); franco argilo arenosa; fraca grande blocos subangulares; ligeiramente dura, friável a firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara plana.

C1 148/155 - 185 cm, vermelho (2.5YR 4/8, úmida); franco argilo arenosa, fraca grande blocos subangulares; ligeiramente dura, friável; plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara plana.

C2 185 - 200/230 cm, fraca; grandes blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, transição clara irregular.

Cr 220 - 230 + cm maciça, (7.5YR 7/6 e 5YR 5/6 cores mescladas, macia).

PERFIL 9- Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.

DATA: 05 / 08 / 2003

CLASSIFICAÇÃO - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO -

LOCALIZAÇÃO - Estrada secundária de Sangão em direção à localidade de São Gabriel, 3 km após Sangão dobrar à esquerda, perfil a uns 500 metros à direita, Sangão, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Coletado em meia encosta, em posição de terraço coluvial (AR-Afloramentos de boulder de granito no topo de elevação).

COORDENADA- 28°37 '1,56"S; 49°7 '52,95"W.

ALTITUDE - 101 m.

LITOLOGIA – Granito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Suíte Intrusiva Pedras Grandes.

CRONOLOGIA – Superior, Granitóides.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto de extração do granito.

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL - Ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

EROSÃO – Laminar

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta.

USO ATUAL - lavoura de culturas anuais.

CLIMA – Cfa (Koeppen)

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Álvaro Luiz Mafra, João Bosco Paes Sobrinho e Joni Ehrart.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 - 30 cm, bruno-escuro (7.5YR 4/3, úmido) e bruno acinzentado muito claro (10YR 7/3, seco); franco arenosa; fraca grande e pequena granular; macio, friável, não plástico e não pegajosa; transição clara plana.

A2 30 - 47 cm, bruno-escuro (7.5YR 4/3, úmido) e bruno acinzentado muito claro (10YR 7/3, seco); franco arenosa; fraca grande e pequena granular, macio, friável, não plástico e não pegajosa com cascalho; transição clara plana.

AB 47 - 66 cm, bruno-escuro (7.5YR 4/4, úmido) e rosado (10YR 7/3, seco); franco argilo arenosa; fraca media e pequena granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa com cascalho; transição gradual plana.

BA 66 - 90 cm, bruno-forte (7.5YR 5/6, úmido); franco argilo arenosa; fraca pequena bloco subangulares; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara plana.

B1 90 - 107 cm, bruno-avermelhado (5YR 4.5/6, úmido); franco argilosa; fraca a moderada média blocos subangulares; cerosidade moderada e pouca, friável à firme, plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

B2 107 - 133/163 cm, vermelho (2.5YR 5/6, úmida); franco argilosa; fraca a moderada média bloco subangular; cerosidade moderada e pouca; friável e firme; plástica e pegajosa; transição gradual e ondulada.

BC 133/136 - 200 cm, + vermelho (2.5YR 5/8, úmida); franco argiloso; fraca moderada blocos subangulares; friável e firme; plástica e pegajosa.

C1-franco argilo arenoso, plástica e ligeiramente pegajosa.

OBSERVAÇÃO: Raízes: Muitas no A1 e A2, comuns no AB e B, poucos no B1 e B2 e raras no BC.

PERFIL 10- Cambissolo Háplico Alítico típico.

DATA -

CLASSIFICAÇÃO - Cambissolo Háplico Alítico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Rio do Sul, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL-Terço inferior de encosta.

COORDENADA– 27°10 '41,26"S; 49°38 '8,7"W.

ALTITUDE -349 m.

LITOLOGIA - Folhelho.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Rio Bonito.

CRONOLOGIA - Médio do Permiano, Grupo Guatá (Super Grupo Tubarão).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Folhelho.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL - Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado.

EROSÃO -.

DRENAGEM -.

USO ATUAL - Lavoura.

CLIMA – Mesotérmico úmido (Thornthwaite)

DESCRITO E COLETADO POR -

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 18 cm, 10YR 4,5/4.

A2 18 – 30 cm, 10YR 4/6.

BA 30 – 55 cm, 10YR 4/6.

Bi1 55- 90 cm, 10YR 5/6.

Bi2 90-120 cm, 7,5YR 4/6.

C 120 -150 cm, 10YR 5/8.

Cr 150 + cm, 10YR 6/8.

PERFIL 11- Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico.

DATA: 22/07/97.

CLASSIFICAÇÃO - Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - Ciriaco - Charrua (UFSM & SUDESUL, 1973).

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Estrada Luzerna - Água Doce, após a entrada para a vila Kennedy 100 metros a direita. Luzerna, SC. Exatamente 3 km abaixo do perfil 2, Luzerna, SC

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Descrito e coletado em barranco de corte de estrada, em situação de terceiro ou quarto patamar em encosta com aproximadamente 20% de declive, sob vegetação de capoeira.

COORDENADA– 27°5 '28,49"S; 51°29 '20,84"W.

ALTITUDE - 699 m.

LITOLOGIA - Basalto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do basalto com possível influência de material retrabalhado proveniente de intemperismo do basalto.

RELEVO LOCAL - Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Mata subtropical com araucárias esparsas, no plano do patamar.

USO ATUAL - Capoeira.

CLIMA - Cfb

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio Almeida, Janaina Corrêa e Joelcio Gmach.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 – 34 cm, bruno escuro(7,5YR 3/3, úmido e 7,5YR 3/4, seco); fraca muito pequena granular; macio, muito friável.

Bi 34 - 70/100 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmido) e bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, seco); fraca muito pequena e pequena granular; macio, friável; transição irregular.

CR 70/100 cm+.

R Coletado.

OBSERVAÇÃO - Intensa presença de pedras na superfície e no interior da massa do solo, principalmente no Bi.

PERFIL 12- Cambissolo Húmico Alumínico típico.

DATA:-

CLASSIFICAÇÃO - Cambissolo Húmico Alumínico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Lages, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL-Terço médio de encosta.

COORDENADA– 27°44 '21,78"S; 50°20 '8,8"W.

ALTITUDE -930 m.

LITOLOGIA - Siltito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Rio do Rastro.

CRONOLOGIA - Superior do Permiano, Grupo Passa Dois.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Siltito.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - Suave ondulado.

EROSÃO -.

DRENAGEM -.

USO ATUAL – Campo nativo.

CLIMA – Mesotérmico úmido (Thornthwaite)

DESCRITO E COLETADO POR -

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 –30 cm, 10YR 2/2.

A2 30 – 61 cm, 10YR 2/2.

BA 61 – 75 cm, 7,5YR 5/4.

Bi 75 – 110 cm, 7,5YR 5/6.

BC 110 – 140 cm, 7,5YR 5/6.

C 140 – 165 cm, 10YR 5/6.

PERFIL 13- Cambissolo Húmico Alumínico típico.

DATA:-

CLASSIFICAÇÃO - Cambissolo Húmico Alumínico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Bom Retiro, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL-Terço de elevação.

COORDENADA- 27°48 '55,33"S; 49°32 '36,71"W.

ALTITUDE – 890 m.

LITOLOGIA - Folhelho.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Teresina

CRONOLOGIA - Superior do Permiano, Grupo Passa Dois.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Folhelho.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO -.

DRENAGEM -.

USO ATUAL – Campo nativo.

CLIMA – Mesotérmico úmido (Thornthwaite)

DESCRITO E COLETADO POR -

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 35 cm, 10YR 3/1.

BA 35 – 52 cm, 10 YR 4/3.

Bi1 52 – 70 cm, 10YR 5/3.

Bi2 70 – 115 cm, 10YR 6/6.

BC 115 – 160 cm, 2,5YR 7/4.

C 160 – 195 cm, 10YR 8/1.

Cr 195+ cm.

PERFIL 14– Cambissolo Húmico Distrófico organossólico.

DATA – 9/7/2008

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Cambissolo Húmico Distrófico organossólico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Rodovia SC-438, trecho Bom Jardim da Serra – Lauro Muller a 4,9Km do Pórtico de saída de Bom Jardim da Serra em barranco ao lado direito da rodovia. Município de Bom Jardim da Serra, SC.

COORDENADA– 28° 22' 19,17"S; 49° 33' 53,91" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – terço médio e elevação com 32% de declividade sob vegetação de gramíneas (pastagem).

ALTITUDE – 1377m.

LITOLOGIA – eruptivas básicas –Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de decomposição das rochas supracitadas.

CRONOLOGIA – Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

PEDROGOSIDADE – Pedregoso.

ROCHOSIDADE – Rochoso.

RELEVO LOCAL – Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e ondulado.

EROSÃO – Moderada.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila mista (com pinheiro).

USO ATUAL – Pastagem.

CLIMA – Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida; Murillo Pundek; José Augusto Laus Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

O1 33 – 20 cm; preto (10YR N2/1, úmido); preto (10YR N2/1, seco); franca; moderada média e grande granular; firme; não pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e plana.

O2 20 - 0 cm; preto (10YR N2/1, úmido); preto (10YR N2/1, seco); franco argilosa; moderada a fraca grande e média blocos angulares e subangulares; firme; ligeiramente plástico e não pegajoso; transição gradual e plana.

A 0 – 8 cm; preto (10YR 2,5/1, úmido); preto (10YR 2/1, seco); franco argilosa; fraca a moderada média blocos subangulares e angulares; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

BA 8 – 20 cm; bruno (10YR 4/3, úmido); bruno amarelado escuro (10YR 4/4,5, seco); argila cascalhenta; fraca média blocos subangulares e angulares; friável a firme; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bi1 20 - 50 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); bruno amarelado escuro (10YR 4/4,5, seco); argila cascalhenta; fraca grande blocos subangulares; firme; plástico e pegajoso; transição clara e plana.

Bi2 50 - 86 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); bruno amarelado (10YR 5/4, seco); argila; aspecto de maciça que se desfaz em fraca grande blocos subangulares; firme; ligeiramente plástico e pegajoso.

BC 86 - 107 cm+; bruno amarelado escuro (10YR 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/4, seco); argila; aspecto de maciço que se desfaz em fraca grande blocos subangulares; firme; ligeiramente plástico e pegajoso.

Observações:

Raízes: muitas, fasciculadas e finas no O1 Linha de cascalhos milimétricos e centimétricos no A muitas, comuns, fasciculadas e finas no O2 Linha de pedra no BA comuns, fasciculadas e finas no A Fragmentos de rocha disseminados no Bi1 e Bi2 poucas e finas no BA Fragmentos de rocha com aspecto corroído no Bi raras nos demais horizontes Fragmentos de calcedônia e quartzo ao longo do perfil.

Atividade de Argila: Bi1: 16,6; Bi2: 13,3;

Relação Textural: 1,44.

PERFIL 15– Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico.

DATA – 24/06/2008

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - BR-153, sentido BR-282, a 13km após o perfil 5 em barranco do lado direito da rodovia BR-153. Município de Água Doce, SC.

COORDENADA– 26° 46' 23"S; 51° 41,7"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – terço inferior de encosta com 3% de declive sob vegetação de campo de altitude.

ALTITUDE – 1202m.

LITOLOGIA – Efusivas ácidas – Dacito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de decomposição das rochas supracitadas.

CRONOLOGIA – Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

PEDROGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Plano a suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campos de altitude.

USO ATUAL – Pastagem.

CLIMA – Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Murillo Pundek, João Bertoldo de Oliveira, César da Silva Chagas, José Augusto Laus Neto, Denílson Dortzbach, André da Costa.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 10 cm; cinzento muito escuro (7,5YR 3/1, úmido); cinzento muito escuro (5YR 3/1, seco); argilo siltosa; forte pequena e muito pequena granular; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

A2 10 – 29 cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido); bruno avermelhado escuro (5YR 3/2, seco); argilo siltosa; fraca a moderada média e grande blocos subangulares e moderada pequena granular; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

AB 29 – 38 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); argilo siltosa; fraca a moderada média blocos subangulares; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bi 38 – 52 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); argilo siltosa; fraca a moderada pequena e média blocos subangulares; friável; plástico e pegajoso; transição abrupta e plana.

BCr 52 – 60 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); franco argilosa; fraca pequena blocos subangulares; transição abrupta e plana.

Cr 60 – 115 cm; franco siltosa.

Atividade da Argila: Bi: 21,5;
Relação Textural: 0,92.

PERFIL 16- Chernossolo Argilúvico Férrico típico (Descanso).

DATA: 28/09/2001.

CLASSIFICAÇÃO - Chernossolo Argilúvico Férrico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - Círiaco-Charrua (UFSM 84 SUDESUL, 1973).

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Na estrada vicinal, a 1,8km do perfil 11, voltando em direção á BR 386, Descanso, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Perfil coletado e descrito em barranco de corte de estrada, no primeiro patamar do vale para o topo.

COORDENADAS- 26°51 '47,22"S; 53°28 '48,74"W.

ALTITUDE - 377 m.

LITOLOGIA - Basalto Amigdalóide.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do basalto.

PEDROGOSIDADE - Ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

RELEVO LOCAL - Ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

DRENAGEM - Moderadamente drenado.

USO ATUAL - Cultura de laranjeira.

CLIMA - Cfa (Köppen)

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio Almeida, Janaina Corrêa e Èlen Ramos Nichéle.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 O – 12 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno avermelhado (5YR 4/3 seco); moderada muito pequena e pequena granular, fraca e pequena em blocos subangulares; macio, muito friável. Transição clara e plana.

A2 12 – 32 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno avermelhado (5YR 4/3 seco); moderada muito pequena e pequena granular, fraca e pequena em blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, transição gradual e plana.

AB 32 – 42 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno avermelhado (5YR 4/3 seco); moderada pequena e média granular, fraca pequena em blocos subangulares; dura, friável, transição gradual e plana.

BA 42 -53/60 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido), e bruno avermelhado (5YR 4.3, seco); moderada média e pequena em blocos subangulares, cerosidade fraca e pouca; duro, friável, transição clara e ondulada.

Bt 53/60 -84/90 cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido) e bruno avermelhado escuro (7,5YR 4/6, seco); moderada a forte média e pequena em blocos subangulares e angulares, cerosidade moderada e comum; dura friável, transição abrupta e ondulada,

CR 84/90 - 104+ cm, coletado.

PERFIL 17- Chernossolo Argilúvico Férreo típico (Ipira).

DATA: 24/07/97.

CLASSIFICAÇÃO - Chernossolo Argilúvico Férreo típico.

UNIDADE MAPEAMENTO - Ciríaco - Charrua (UF SM & SUDESUL, 1973).

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Rodovia Piratuba-Peritiba, a 6 km após o Rio do Peixe, lado esquerdo após a entrada da propriedade do Sr. Edson Poll, em Ipira, SC.

COORDENADA – 27°23 '43,85"S; 51°48 '20,26"W.

ALTITUDE - 620 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito ecoletado em barranco de corte de estrada, em terço médio de encosta, com influência coluvial local.

LITOLOGIA - Basalto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produtos da alteração do basalto, com forte influência coluvial em todo o perfil, evidenciado por linha de pedras (matações e calhaus) entre o A e o BA; e presença de fragmentos de rocha dispersos no 2Bt1 e 2Bt2.

PEDREGOSIDADE - Pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

RELEVO LOCAL - Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

USO ATUAL - Mata secundária.

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio Almeida, Janaina Corrêa e Joelcio Gmach.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA.

A 0 – 28 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno avermelhado (5YR 4/4, seco); média, fraca, muito pequena granular; macia, muito friável, transição clara e ondulada.

BA 28 —50 cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 2,5/4, úmido) e bruno avermelhado (5YR 4/4, seco); argilosa, moderada, pequena e muito pequena granular; ligeiramente duro, muito friável, transição clara e plana.

2Bt1 50 – 80 cm, (3,5YR 3/6, úmido) e (3,5YR 4/6, seco); argilosa, moderada muito pequena em blocos subangulares; cerosidade moderada e pouca; superfícies de compressão poucas; ligeiramente dura, muito friável, transição plana e gradual.

2Bt2 80 – 150 cm+, (3,5YR 3/6, úmido) e (3,5YR 4/6, seco); argilosa, moderada pequena e muito pequena em blocos sub angulares; cerosidade moderada e pouca; superfícies de compressão poucas; ligeiramente dura e muito friável.

RAÍZES - Muitas no A e BA, comuns no horizonte 2Bt1 e raras no horizonte 2Bt2.

PERFIL 18- Chernossolo Háptico Férrico típico.

DATA: 29/09/2001.

CLASSIFICAÇÃO - Chernossolo Háptico Férrico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - Erexim (UFSM &SUDESUL, 1973).

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Na estrada vicinal, a 39,8km do perfil 10, voltando em direção à BR 386, Descanso, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - perfil coletado e descrito em barranco de corte de estrada, situado no terço médio de encosta com um declive mínimo de 35%.

COORDENADA – 26°51 '46,37"S, 53°29 '20,37"W.

ALTITUDE – 451 m.

LITOLOGIA - Basalto Amigdalóide.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral.

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do basalto.

PEDROGOSIDADE - Pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

RELEVO LOCAL - Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado a montanhoso.

DRENAGEM - Bem drenado.

USO ATUAL - Cultura de fumo.

CLIMA - Cfa (Köppen)

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio Almeida, Janaina Corrêa e Èlen Ramos Nichéle.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 34 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido) e bruno avermelhado (5YR 4/4 seco); moderada pequena muito pequena granular, fraca e pequena em blocos subangulares; macio, muito friável, transição gradual e plana.

AB 34 – 70 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido) e bruno avermelhado (5YR 4/4 seco); moderada pequena granular, fraca e pequena em blocos subangulares; macio, friável, transição gradual e plana.

B 70 -100 + cm, bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido) e vermelho amarelado (5YR 4/6, seco); moderada pequena e média em blocos subangulares; macio, fiável, transição clara e plana.

PERFIL 19- Latossolo Amarelo Distrófico argissólico.

DATA: 04/ 08 / 2003

CLASSIFICAÇÃO - Latossolo Amarelo Distrófico argissólico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO -

LOCALIZAÇÃO - Estrada São Bonifácio-Rio Fortuna a $\pm$ 4,5 Km da Igreja Matriz, na entrada do lixão da cidade (coletado no barranco à esquerda), São Bonifácio, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Coletado em situação de encosta, com aproximadamente 15% de declive e cobertura da mata.

COORDENADA– 27°56 '21,94"S; 48°56 '13,4"W.

ALTITUDE- 504 m

LITOLOGIA – Migmatitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Rochas do complexo Tabuleiro. Faixa Granito Gnaissica-Santa Rosa de Lima-Tijucas.

CRONOLOGIA – Pré-Cambriano Superior, Arqueano, Rochas do Complexo Tabuleiro.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Possivelmente derivado de migmatitos, constatados à 50m do barranco, com possível contribuição de material por retrabalhamento superficial. Perfil com bastante cascalho.

PEDROGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

RELEVO LOCAL - Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM - Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Mata Atlântica (secundária).

USO ATUAL – Floresta nativa.

CLIMA – Cfa (Koeppen).

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Álvaro Luiz Mafra, João Bosco Paes Sobrinho e Joni Ehrart.

Perfil coletado próximo ao topo de elevação em área ondulada.

Obs: Alguns afloramentos dispersos na encosta.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 15 cm, bruno-acinzentado escuro (10 YR 4/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5.5/2, seco); franco argiloso; moderado médio blocos subangulares e moderada e fraca pequena granular; ligeiramente duro; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

AB 15 - 26 cm, bruno-amarelo-escuro (10YR 4/4, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); franco argiloso, fraca à moderada pequena blocos subangulares; duro; friável à firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

BA 26 - 50 cm, bruno-amarelo escuro (10YR 4.5/6, úmido); franco argiloso; moderada à fraca média blocos subangulares; duro; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

B1 50 - 78 cm, bruno-forte (7.5YR 5/6, úmido); franco argiloso; moderada à fraca grande blocos subangulares; duro; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

B2 78 - 136 cm, bruno-forte (7.5YR 5/8, úmido); cerosidade fraca a comum; argilosa; moderada à fraca grande blocos subangulares; duro; firme; muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

BC 136 - 160/180 cm, bruno-forte (6.5YR 5/8, úmido); franco argiloso; fraca à moderada grande blocos subangulares; duro; friável à firme, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada.

C 160/180 - 200 cm, vermelho (2.5YR 4/8, úmido); franco argiloso; maciça; friável à firme; ligeiramente duro; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Raízes: Muitas no A1, comuns no AB e BA, poucas no B1, raras no B2 e BC, ausentes no C.

OBSERVAÇÕES: Perfil coletado e descrito em barranco sem sol direto, medidas de cor sem sol incidente direto.

PERFIL 20– Latossolo Bruno Distrófico nitossólico húmico.

DATA – 25/06/2008.

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Latossolo Bruno Distrófico nitossólico húmico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - BR-282, trecho Vargeão – Ponte Serrada a 10km após o trevo principal de Vargeão, 100m antes do Km 467, em barranco do lado direito da rodovia. Município de Vargeão, SC.

COORDENADA– 26° 51' 15"S; 52° 05' 57,61"W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – topo de elevação com declividade de 3% sob vegetação herbácea e arbustiva em contato com culturas anuais.

ALTITUDE – 1063m.

LITOLOGIA – Efusivas ácidas – Dacito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de decomposição das rochas supracitadas.

CRONOLOGIA – Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

PEDROGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Mista (com pinheiro).

USO ATUAL – Culturas anuais.

CLIMA – Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Murillo Pundek, João Bertoldo de Oliveira, César da Silva Chagas, José Augusto Laus Neto, Denílson Dortzbach, André da Costa.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 30 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2, úmido); bruno avermelhado escuro (5YR 3/2, seco); muito argilosa; moderada pequena a muito pequena granular; muito friável; plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

A2 30 – 71 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido); bruno avermelhado escuro (5YR 3/2, seco); muito argilosa; fraca média blocos subangulares e moderada média e pequena granular; friável; plástico e pegajoso; transição clara e plana.

AB 71 – 80 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/4, seco); muito argilosa; fraca a moderada média blocos subangulares e moderada média e pequena granular; friável a muito friável; plástico a muito plástico e pegajoso; transição clara e plana.

BA 89 – 94 cm; bruno (8YR 4/3, úmido); bruno amarelado escuro (10YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca a moderada média e pequena blocos subangulares; friável; plástico a muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

Bw1 94 – 123 cm; bruno amarelado escuro (8YR 4/4, úmido); bruno amarelado escuro (10YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca a moderada média e pequena blocos subangulares e forte muito pequena granular; friável; plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

Bw2 123 – 174 cm; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 5/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média prismática que se desfaz em moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; firme; ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Bw3 174 – 206 cm; bruno (7,5YR 4,5/4, úmido); bruno forte (7,5YR 5/6, seco); muito argilosa; fraca a moderada pequena blocos subangulares e angulares; cerosidade fraca e pouca; firme; ligeiramente plástico e pegajoso.

OBSERVAÇÕES:

Raízes: A1 e A2 – muitas, finas e médias, AB; BA; Bw1; Bw2 – comuns e finas.

Intensa atividade de formigas no Bw1 e Bw2.

Atividade de Argila: Bw1: 14,4; Bw2: 10,9; Bw3: 9,5;

Relação Textural: 1,03.

PERFIL 21- Latossolo Vermelho Distroférico Húmico.

DATA: 24/07/99.

CLASSIFICAÇÃO - Latossolo Vermelho Distroférico Húmico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Estrada de acesso entre Faxinal dos Guedes e a localidade de Bom Jesus a 8 km do trevo da BR 282, Faxinal dos Guedes, Santa Catarina.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL-Coletado em barranco corte de estrada, terço superior de elevação, com área de relevo suave ondulado, cerca de 8% de declive, sob vegetação de lavoura (aveia).

COORDENADA- 26°48 '38,88"S; 52°18 '21,77"W.

ALTITUDE- 840m.

LITOLOGIA, Basalto Amigdalóide.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral.

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Basalto

PEDROGOSIDADE - sem pedregosidade.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

USO ATUAL - Lavoura.

CLIMA - Cfb (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR Joelcio Gmach, Douglas A. N. de Oliveira, Jaime Antônio Almeida.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ai 0 – 14 cm, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido) e (5YR 3/3, seco); argilosa, forte granular; friável, macia transição gradual a plana.

A2 14 – 45 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido) e (5YR 3/4, seco); argilosa; forte granular; friável, macia, transição gradual e plana.

AB 45 – 70 cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4 úmido) e (2,5YR 3/4, seco); muito argilosa; fraca média blocos subangulares e moderado a pequena granular; friável, ligeiramente dura; transição gradual e plana.

BA 70 97 cm, bruno-avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido) e (2,5YR 3/6 seco); muito argilosa; fraca média blocos subangulares e moderado a pequena granular; friável; ligeiramente dura; transição difusa e plana.

Bw1 97 120 cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido) e (2,5YR 4/8, seco); argilosa, fraca a média blocos subangulares e moderado a pequena granular; friável, ligeiramente dura; transição difusa plana.

Bw2 120-172 cm, vermelho escuro (2,5 YR 3/6, úmido) e (2,5YR 3/6, seco); argilosa, fraca média blocos subangulares e moderado a pequena granular; friável, ligeiramente dura; transição difusa plana.

Bw3 172-220 + cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 2,5/4, úmido) e (2,5YR 4/6, seco),

argilosa, fraca moderada média blocos subangulares; friável a firme, ligeiramente dura; transição difusa plana.

PERFIL 22– Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico.

DATA – 24/07/99.

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Rodovia BR-470, trecho Campos Novos - Curitiba, a 13,2Km após o trevo principal de acesso a Campos Novos e a cerca de 2km antes do trevo para São José do Cerrito, em barranco do lado direito da rodovia. Município de Campos Novos, SC.

COORDENADA– 27° 22' 34,93"S; 51° 05' 26,92" W

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Coletado em barranco de corte de estrada, topo de elevação, com área de relevo suave ondulado, cerca de 6% de declive, sob vegetação de campo nativo.

ALTITUDE - 939m.

LITOLOGIA – Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produtos de alteração do basalto.

CRONOLOGIA – Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

USO ATUAL – Campo nativo.

CLIMA – Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR - Joelcio Gmach; Douglas A. N. de Oliveira; Jaime Antonio Almeida.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 11 cm, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido); bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, seco); muito argilosa, moderada muito pequena e pequena granular; ligeiramente duro, friável à firme; transição gradual e plana.

A2 11 – 35 cm, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido); vermelho amarelado (5YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca à moderada pequena e média blocos subangulares e moderada pequena granular; ligeiramente dura, friável à firme; transição gradual e plana.

AB 35 – 50 cm, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/4 úmido); bruno avermelhado (5YR 4/4, seco); muito argilosa; fraca à moderada pequena e média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável; transição gradual e plana.

BA 50 – 71 cm, bruno-avermelhado escuro (4YR 3/4, úmido); vermelho amarelado (4YR 4/6 seco); argilosa; moderada pequena e média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável à firme; transição gradual e plana.

Bw1 71 – 98 cm, bruno avermelhado escuro (3,5YR 3/4, úmido); bruno avermelhado escuro (3,5YR 3/8, seco); argilosa, fraca à moderada, pequena e média blocos subangulares e

forte pequena e muito pequena granular; ligeiramente duro, friável a firme; transição difusa e plana.

Bw2 98 – 220 cm, vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido); vermelho escuro (2,5YR 4/6, seco); argilosa, fraca muito pequena e pequena blocos subangulares e forte pequena e muito pequena granular; duro, friável; transição difusa e plana.

Bw3 220 – 350 cm + (coletada amostra com trado na profundidade de 350 cm).

Atividade da Argila: Bw1: 7,4; Bw2: 7,5;

Relação textural = 1,09.

PERFIL 23– Latossolo Vermelho Eutroférico típico.

DATA: 24/07/99.

CLASSIFICAÇÃO – Latossolo Vermelho Eutroférico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Estrada Chapecó-Pinhalzinho, após Posto 3 Palmeiras, Pinhalzinho, Santa Catarina.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Coletado em barranco de corte de estrada em topo de elevação, com área de relevo suave ondulado, cerca de 6% de declive, sob vegetação de lavoura.

COORDENADA– 26°53 '8,41"S; 52°56 '12,37"W.

ALTITUDE - 533m.

LITOLOGIA - Basalto Amigdalóide.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO Basalto Amigdalóide

PEDREGOSIDADE não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - Ondulado.

EROSÃO - Laminar.

DRENAGEM - Bem drenado.

USO ATUAL - Lavoura.

CLIMA - Cfa (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR - Joelcio Gmach, Douglas A. N. de Oliveira, Jaime Antonio Almeida.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 - 14 cm, bruno-avermelhado escuro (4YR 3/3, úmido) e (4YR 3/4, seco); argilosa, moderada muito pequena e pequena granular; ligeiramente dura, transição difusa e plana.

A2 14 – 32 cm, bruno-avermelhado escuro (3,5YR 3/3, úmido); (3.5YR 3/4, seco); argilosa; moderada muito pequena e pequena granular; ligeiramente duro a duro, transição gradual e plana.

BA 32 – 58 cm, bruno-avermelhado escuro (3,5YR 3/4 úmido) e (3.5YR 3/6, seco); argilosa; pequena e média, blocos subangulares; firme, duro transição• difusa e plana.

Bw1 5 – 106 cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 2,5/4, úmido) (2,5YR 3/6 seco); argilosa; fraca média blocos subangulares e moderada pequena granular; ligeiramente duro, friável transição difusa e plana

Bw2 106 – 154 cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido) (2,5YR 3/4, seco); argilosa, fraca a moderada média blocos subangulares e moderada pequena granular; ligeiramente duro, friável; transição difusa plana.

Bw3 154 – 238 + cm, vermelho escuro (2,5YR 3/5, úmido) (2,5YR 3/6, seco); argilosa, fraca a moderada média blocos subangulares e moderada pequena granular, ligeiramente duro, friável, transição difusa plana.

PERFIL 24- Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico.

DATA: 04/ 08 / 2003

CLASSIFICAÇÃO - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO -

LOCALIZAÇÃO - BR 282, trecho Rancho Queimado-Águas Mornas, ± 15 km após a entrada de Santa Izabel, em uma entrada secundária à direita (Sítio Flor da Serra), bem na entrada, lado direito, Rancho Queimado, SC.

COORDENADA– 27°43 '17,59"S; 48°56 '7,96"W.

ALTITUDE - 470 m.

LITOLOGIA - Migmatitos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Rochas do Complexo Tabuleiro. Faixa Granito Gnaissica-Santa Rosa de Lima Tijucas.

CRONOLOGIA – Pré-Cambriano Superior, Arqueano, Rochas do Complexo Tabuleiro.

MATERIAL DE ORIGINÁRIO - Alteração de migmatito, com possível influência de retrabalhamento.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso.

RELEVO LOCAL - Ondulado, 18 %de declividade.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

EROSÃO - Moderada.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Floresta Tropical (Mata Atlântica).

USO ATUAL - Capoeira e vegetação secundária ao fundo.

CLIMA – Cfa (Koeppen)

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Álvaro Luiz Mafra, João Bosco Paes Sobrinho e Joni Ehrart.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 24 cm, bruno-escuro (7,5YR 4/3, úmido) e bruno-clara (7,5YR 6/3, seco); franco argiloso, moderada a média granular e moderada pequena, blocos subangulares; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

AB 24 - 45 cm, vermelho-amarelo (5YR, 5/6 úmido) e bruno avermelhado claro (5YR 6,5/4, seco); franco argiloso; fraca a moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente duro, friável a firme; muito plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

B1 45 - 100/112 cm, vermelho-amarelo (5YR, 5/8 úmido); franco argiloso; fraca a moderada média blocos subangulares; duro, friável a firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e ondulada.

B2 100/112 - 126/150 cm, vermelho-amarelo (5YR, 5/8 úmido); manchas de cor vermelha (2.5YR 4/8); argila; fraca à moderada média grande blocos subangulares; cerosidade fraca a comum; duro, firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada.

BC 126/150 - 186/206 cm, vermelho (10R 5/8, úmido); franco argiloso, fraca grande blocos subangulares; ligeiramente duro a duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.

C-186/206-270-290 cm, vermelho (10R 4/8 úmido); franco argiloso; maciça; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.

Cr 270/296 + cm, vermelho (10R 4/8 úmido); franco argilosa; maciça; friável, ligeiramente duro; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada .

OBSERVAÇÕES - No perfil C e Cr existem manchas esbranquiçadas localizadas em faixas obliquas em angulo de 30° (5Y 8/1 branco).

Raízes: Muitas no A, comuns no BA e B1, poucas no B2 e raras no BC e ausentes no C e Cr.

PERFIL 25- Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico.

DATA: 24/07/97.

CLASSIFICAÇÃO - Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico.

UNIDADE MAPEAMENTO - Ciríaco - Charrua (UFSM & SUDESUL, 1973).

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Estrada secundária a rodovia Piratuba - Peritiba, a 4 km do Rio do Peixe, em Ipira, SC.

COORDENADA - 27°23 '9,56"S; 51°47 '56,9"W.

ALTITUDE - 527 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Descrito e coletado em barranco de corte de estrada, em terço inferior de encosta, com aproximadamente 35% de declividade, próximo ao fundo do vale (riacho).

LITOLOGIA - Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produtos da alteração do basalto.

RELEVO LOCAL - Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

USO ATUAL - Pastagem.

CLIMA - Cfb (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio Almeida, Janaina Corrêa e Joelcio Gmach.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA.

A O - 20/25 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3,5, úmido), e bruno escuro (7,5YR 4/3, seco); franco argiloso, moderada muito pequena e pequena granular; ligeiramente duro, friável.

PERFIL 26- Neossolo Litólico Distrófico típico.

DATA - 10/02/2011.

CLASSIFICAÇÃO - Neossolo Litólico Distrófico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO – Ponte Alta, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL -

COORDENADA– 27°26 '39,64"S; 50°25 '45,72"W.

ALTITUDE -875 m.

LITOLOGIA - Arenito Botucatu.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Botucatu.

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Arenito Botucatu.

PEDROGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - Suave ondulado.

EROSÃO -.

DRENAGEM -.

USO ATUAL – Mata.

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR - André da Costa, Antonio Lunardi, Rodrigo Viera Luciano.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 40 cm.

A2 40 – 70 cm.

C 70 – 90 cm.

Cr 90 - + cm.

PERFIL 27- Neossolo Litólico Húmico típico (Ponte Alta).

DATA -10/02/2011.

CLASSIFICAÇÃO - Neossolo Litólico Húmico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO – Ponte Alta, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL -

COORDENADA– 27°26 '22,06"S; 50°25 '27,24"W.

ALTITUDE -900 m.

LITOLOGIA - Arenito Botucatu.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Botucatu.

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Arenito Botucatu.

PEDROGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - Suave ondulado.

EROSÃO -.

DRENAGEM -.

USO ATUAL – Pastagem.

CLIMA – Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR – André da Costa, Antonio Lunardi, Rodrigo Viera Luciano.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 42 cm.

A2 42 – 83 cm,

AB 83 - + cm, não descrito.

PERFIL 28- Neossolo Litólico Húmico típico (São Joaquim).

DATA:-

CLASSIFICAÇÃO - Neossolo Litólico Húmico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO – Perímetro urbano de São Joaquim, saída para Bom jardim da Serra, após a Cooperativa Santo e antes do Portal, lado esquerdo da estrada, dentro de terreno de câmara frigorífica pertencente ao Prefeito Municipal, São Joaquim, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio de encosta com 20 a 45% de declividade.

COORDENADA–28° 16'21,2"S; 49°55 '39,82"W.

ALTITUDE -1373 m.

LITOLOGIA – Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Derrame basáltico. Produto de alteração de rochas ácidas e intermediárias.

PEDREGOSIDADE – Pedregoso.

ROCHOSIDADE – Rochoso.

RELEVO LOCAL - Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado a ondulado.

EROSÃO -.

DRENAGEM -. Imperfeitamente drenado.

USO ATUAL – Pastagem.

CLIMA – Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR –

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 – 25 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmido); muito argilosa.

R 25 – 180 cm, não descrito.

PERFIL 29- Neossolo Quartzârenico Órtico típico (Araquari).

DATA -

CLASSIFICAÇÃO - Neossolo Quartzârenico Órtico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Araquari, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL -

COORDENADA- 26°30 '57,59"S; 48°43 '13,46"W.

ALTITUDE -17 m.

LITOLOGIA - Depósitos aluvionares atuais.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA -

CRONOLOGIA - Néogeno, Sedimentos continentais.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Depósitos aluvionares atuais.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL - Plano.

RELEVO REGIONAL - Plano.

EROSÃO -.

DRENAGEM -.

USO ATUAL - Reflorestamento.

CLIMA -.

DESCRITO E COLETADO POR -

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 15 cm, 10YR 4/1

A2 15 - 25/38 cm, 10 YR 5/2

AC 25/38 - 50 cm, 10 YR 4,5/3

C1 50 - 82+cm, 10YR 4/4

PERFIL 30- Neossolo Quartzârenico Órtico típico (Araranguá).

DATA:-

CLASSIFICAÇÃO - Neossolo Quartzârenico Órtico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Araranguá, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL -

COORDENADAS- 29°0 '19,58"S; 49°31 '3,5"W.

ALTITUDE - 14 m.

LITOLOGIA - Depósitos aluvionares atuais.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA -

CRONOLOGIA - Néogeno, Sedimentos continentais.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Depósitos aluvionares atuais.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL - Plano.

RELEVO REGIONAL - Plano.

EROSÃO -.

DRENAGEM -.

USO ATUAL - Pastagem.

CLIMA -

DESCRITO E COLETADO POR -

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 - 26 cm, 10YR 5/3.

C1 26 - 44 cm, 10YR 5/4.

C2 44 - 75 cm, 10YR 5/6.

C3 75 + cm, 7,5YR 5/6.

PERFIL 31- Neossolo Quartzârenico Órtico típico (Imbituba).

DATA -

CLASSIFICAÇÃO - Neossolo Quartzârenico Órtico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Imbituba, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – COORDENADS
– 28°13 '12,02"S; 48°41 '45,73"W.

ALTITUDE -27 m.

LITOLOGIA - Depósitos aluvionares atuais.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA –

CRONOLOGIA – Néogeno, Sedimentos continentais.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Depósitos aluvionares atuais.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL - Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO -.

DRENAGEM -.

USO ATUAL – Pastagem.

CLIMA –

DESCRITO E COLETADO POR -

Descrição Morfológica

A 0 – 28 cm, úmido10YR 4/2, Seco 10YR 5/3

C1 28 – 80 cm, úmido10YR 4/3, Seco 10YR 5/4

C2 80 - 110 cm, úmido10YR 5/4, Seco 10YR 5/4.

PERFIL 32– Nitossolo Bruno Alumínico rúblico.

DATA – 8/7/2008

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Nitossolo Bruno Alumínico rúblico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - SC-303, trecho Tangará – Ibicaré, a 8,8Km de Tangará a partir do final da ponte sobre o Rio do Peixe e a 100m após o Salão Scheid. Município de Tangará, SC.

COORDENADA– 27° 05' 25,5"S; 51° 18' 12,5" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – terço médio de elevação com 10% de declive sob culturas anuais.

ALTITUDE – 750m.

LITOLOGIA – Basalto

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de decomposição das rochas supracitadas

CRONOLOGIA – Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

PEDROGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado a forte ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Mista com pinheiro (araucária).

USO ATUAL – Culturas anuais.

CLIMA – Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida; Murillo Pundek; José Augusto Laus Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 - 8/10 cm; bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido); bruno avermelhado (5YR 4/3, seco); muito argilosa; moderada média e pequena granular e moderada média blocos subangulares; friável; muito plástico e pegajoso; transição clara e plana.

A2 8/10 – 23 cm; bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada média e pequena blocos subangulares e média pequena granular; firme; muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

AB 23 – 43 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada média e pequena blocos subangulares; friável; muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

BA 43 – 65 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada a forte média blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; friável; muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

Bt1 65 – 81/95 cm; vermelho amarelado (4YR 4/6, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada a forte média e pequena blocos subangulares; cerosidade moderada e abundante; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.

Bt2 81/95 – 130 cm; vermelho escuro acinzentado (2,5YR 4/4, úmido); vermelho escuro (2,5YR 4/6, seco); muito argilosa; forte média e pequena blocos angulares e subangulares; cerosidade forte e abundante; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição clara e ondulada.

BC 130 – 168/192 cm; vermelho acinzentado (10R 4/4 (úmido); vermelho acinzentado (10R 5/4, seco); muito argilosa; forte pequena e média blocos subangulares e angulares; cerosidade forte e abundante; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.

C 168/192 – 190/200 cm+; vermelho escuro acinzentado (10R 3/3, úmido).

OBSERVAÇÕES:

Raízes: muitas, finas e médias no Ap e A2 comuns e finas no AB, BA, Bt1 E Bt2 raras no BC.

- Perfil descrito e coletado em dia nublado; cor úmida tomada sem presença de sol.
- Intensa atividade biológica de cupins em todo o perfil.
- Presença de cascalhos no AB e BA.
- Presença de geodos e calcedônia no Bt2 e BC.

Atividade da Argila: Bt1: 13,1; Bt2: 11,3;

Relação Textural: 1,13.

PERFIL 33- Nitossolo Bruno Distroférrico húmico.

DATA: 22/07/97

CLASSIFICAÇÃO - Nitossolo Bruno Distroférrico húmico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - Erexim (UFSM & SUDESUL, 1973).

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Estrada Luzerna - Água Doce, após o entroncamento que inicia esta rodovia a 18 km de Luzerna, do lado direito, 1,5 km após o km 15 desta rodovia. Luzerna-SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Perfil coletado e descrito em barranco de corte de estrada, em topo de elevação com 15% de declive.

COORDENADA- 27°2 '39,31"S; 51°32 '13,79"W.

ALTITUDE - 810 m.

LITOLOGIA - Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral.

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do basalto.

RELEVO LOCAL - Ondulado.

RELEVO REGIONAL - Ondulado.

USO ATUAL - Pastagem de inverno.

CLIMA — Cfb (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio Almeida, Janaina Corrêa e Joelcio Gmach.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 21 cm, bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno/bruno escuro (10YR 4/3 seco); argilosa; moderada muito pequena e pequena granular; ligeiramente duro, friável, plástico.

A2 21 – 45 cm, bruno escuro (10YR 3/3, úmido) e bruno/bruno escuro (10YR 4/3 seco); moderada muito pequena e pequena granular; duro, firme.

A3 45 – 67 cm, bruno escuro (7,5 YR 3/3 úmido e 7,5 YR 3/4, seco); moderada pequena granular; muito dura, friável.

AB 67 – 86 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3 úmido, e bruno/bruno escuro (7,5YR 4/4 seco); moderada muito pequena e pequena granular; muito duro, friável.

BA 86 – 119 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmido) e bruno forte (7,5YR 4/6, seco); moderada muito pequena em blocos subangulares, superfícies de compressão comuns; dura friável.

B1 119 – 155 cm, bruno/bruno escuro (7,5YR 4/4, úmido) e bruno forte (7,5YR 4/6, seco); moderada pequena e muito pequena em blocos subangulares, superfícies de compressão comuns, dura, friável.

B2 155 – 200 cm, bruno/bruno escuro (7,5YR 4/4, úmido) e bruno forte (7,5YR 4/6, seco); moderada pequena e muito pequena em blocos subangulares; superfícies de compressão comuns, duro, friável.

B3 200 – 270 cm+, bruno/bruno escuro (7,5YR 4/4 úmido) e bruno forte (7,5YR 5/6, seco); moderada pequena e muito pequena em blocos subangulares, superfícies de

compressão comuns, duro, friável.

RAÍZES - Muitas raízes nos horizontes A1, A2 e A3; comuns nos horizontes AB e BA; poucas no horizonte BI; raras no B2 e B3.

OBSERVAÇÕES - Matações e calhaus.

PERFIL 34- Nitossolo Bruno Distroférico típico (Luzerna).

DATA: 22/07/97

CLASSIFICAÇÃO - Nitossolo Bruno Distroférico típico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - Ciriaco - Charrua (UFSM SUDESUL, 1973).

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADA- Estrada Luzerna - Água Doce, 8 km abaixo do perfil 1, Luzerna,SC,

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Coletado em barranco de corte de estrada, aproximadamente em uma situação de segundo patamar de encosta com forte influência coluvial, declividade de 10 -12%.

CORDENADAS - 27°4 '44,96"S; 51°30 '7,84"W.

ALTITUDE - 730 m.

LITOLOGIA - Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto de alteração da rocha supracitada, com forte influência de coluviamento expresso pela presença de pedras na massa do solo, principalmente no BA, B1 e B2.

RELEVO LOCAL - Ondulado.

RELEVO REGIONAL - Ondulado

CLIMA - Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio Almeida, Janaina Corrêa e Joelcio Gmach.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 – 28 cm, bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido) e bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, seco); moderada pequena e muito pequena granular; ligeiramente duro, friável; transição clara e ondulada.

BA 28 – 50 cm, bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido) e bruno avermelhado escuro (5YR3/4, seco); moderada pequena e muito pequena em blocos subangulares, duro, friável, transição gradual e plana.

B1 50 - 100 cm, (4YR 3/4 úmido), e (4YR 4/4 seco); moderada pequena e muito pequena em blocos subangulares; superfícies de compressão poucas; duro, friável; transição gradual e plana.

B2 100 – 155 cm, (4YR 4/6 úmido), e (4YR 4/4 seco); moderada pequena e muito pequena em blocos subangulares, cerosidade fraca e pouca; superfícies de compressão comuns; ligeiramente duro, friável; transição gradual e plana.

B3 155 – 190 cm, (4YR 4/6 úmido), e (4YR 4/4 seco); moderada pequena e muito pequena em blocos subangulares; superfícies de compressão comuns; duro, friável; transição gradual e plana.

BC 190 – 250 cm, (4YR 4/6 úmido), e (4YR 5/6 seco); moderada muito pequena e pequena em blocos subangulares; superfícies de compressão comuns; duro, friável; transição clara e irregular.

C 250 – 270 + cm.

CR Coletado.

R Coletado.

RAIZES - Muitas no horizonte A e BA, comuns no B1, e raras no B2 e B3, ausentes no BC. C, CR e R.

OBSERVAÇÕES - Grande quantidade de concreções de calcedônia, e veios de ametista e quartzo hialino em geodos dispersos por todo o perfil, inclusive no CR, onde são abundantes.

PERFIL 35– Nitossolo Bruno Distroférico típico (Santa Cecília).

DATA – 23/06/2008

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Nitossolo Bruno Distroférico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - trevo da BR-116 com a SC-302, em direção a Lebon Regis, a 1km do trevo, em barranco no lado esquerdo da rodovia. Município de Santa Cecília, SC.

COORDENADA– 26° 54' 55,3" S; 50° 27' 13,6" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – barranco de estrada com 8% de declive (no perfil) e 10 a 20% (regional) sob reflorestamento com Pinus.

ALTITUDE – 1075m.

LITOLOGIA – Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto da decomposição das rochas supracitadas.

CRONOLOGIA – Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

PEDROGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO – Ligeira a forte.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Mista (com pinheiro).

USO ATUAL – Reflorestamento com Pinus.

CLIMA – Cfb.

COLETADO POR – VI RCC (nov de 2002).

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 15 cm; bruno-escuro (10YR 3/3); muito argilosa; moderada média e pequena blocos subangulares que se desfaz em moderada pequena e muito pequena granular; ligeiramente dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição clara e plana.

AB 15 – 32 cm; bruno a bruno-escuro (10YR 4/3); muito argilosa; moderada grande a pequena blocos subangulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição clara e plana.

BA 32 – 64 cm; bruno a bruno-escuro (8,5YR 4/3); muito argilosa; moderada pequena a grande blocos subangulares; extremamente dura, firme, plástica e pegajosa; transição clara e plana.

Bt1 64 – 90 cm; bruno a bruno-escuro (7,5YR 4/3); muito argilosa; moderada média e grande blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; extremamente dura, firme, plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

Bt2 90 – 152 cm; bruno a bruno-escuro (7,5YR 4/4); muito argilosa; moderada a fraca grande e média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; extremamente dura, firme a friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

Bt3 152 – 230 + cm; dicromia com prevalência de matizes bruno a bruno-escuro (6,5YR 4/4) e, vermelho-escuro-acinzentado (3,5 YR4/4) e mosqueados proeminentes médios vermelho-amarelado 5YR 5/6; muito argilosa; moderada a fraca grande e média blocos

subangulares; extremamente dura, firme, ligeiramente plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

RAÍZES: Ap e AB - muitas fasciculadas finas; BA - muitas a comuns finas; Bt1 - comuns finas; Bt2 - poucas finas.

POROS: Ap - muitos muito pequenos, comuns pequenos médios; AB - comuns muito pequenos, comuns a poucos médios, poucos grandes e muito grandes; BA , Bt1 e Bt2 - comuns pequenos e muito pequenos, poucos médios; Bt3 poucos médios, comuns pequenos e muito pequenos.

Atividade da Argila: Bt1: 12,8 cmolc/kg; Bt2: 8,7 cmolc/kg; Bt3: 7,5 cmolc/kg.

Relação Textura: 1,03

PERFIL 36– Nitossolo Bruno Distroférico típico.

DATA – 24/06/2008

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Nitossolo Bruno Distroférico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO: BR-53, sentido Paraná, a 1 km após o trevo para Água Doce. Município de Água Doce, SC.

COORDENADA– 26° 41' 28"S; 51° 34' 0,79"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – barranco do lado direito da rodovia, em terço médio de encosta, com declividade de 7% e VEGETAÇÃO de campo natural.

ALTITUDE – 898m.

LITOLOGIA – Efusivas intermediárias – andesito basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de decomposição das rochas supracitadas.

CRONOLOGIA – Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

PEDROGOSIDADE– Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campos de altitude.

USO ATUAL – Pastagem.

CLIMA – Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Murillo Pundek, JoãoBertoldo de Oliveira, César da Silva Chagas, José Augusto Laus Neto, DenilsonDortzbach, André da Costa.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 13 cm; bruno avermelhado (5YR 4/3, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada pequena muito pequena granular e fraca média blocos subangulares; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

A2 13 – 26 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; fraca a moderada média prismática que se desfaz em fraca a moderada média e grande blocos subangulares; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

BA 26 – 43 cm; bruno forte (7,5YR 5/6, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em moderada média e grande blocos subangulares; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bt1 43 – 84 cm; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em moderada pequena e média blocos subangulares; cerosidade fraca e comum; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradua e plana.

Bt2 84 – 134 cm; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada média e pequena blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

Bt3 134 – 158 cm; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); franco argilosa; fraca a moderada média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

BC 158 – 166 cm+; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); franca; fraca média e grande blocos subangulares com aspecto de maciça; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

OBSERVAÇÕES:

Raízes: A1 – comuns, finas e médias; A2 – comuns e finas; BA – comuns e muito finas;

Bt1 – poucas e muito finas; Bt2 – raras; BC – ausentes.

Atividade da Argila: Bt1: 15,2; Bt2: 18,8; Bt3: 42,2;

Relação Textural: 1,05.

PERFIL 37– Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico (Curitibanos).

DATA – 8/7/2008

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - BR-470 – 1º trevo de acesso a Curitibanos em direção a Horizolândia a 7,5Km do trevo, em barranco de estrada do lado direito da estrada. Município de Curitibanos, SC.

COORDENADA– 27° 22' 12"S; 50° 34' 46,0" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – terço superior de elevação com 8% de declive sob uso com culturas anuais.

ALTITUDE – 993m.

LITOLOGIA – Efusivas intermediárias – (Riodacito)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto de decomposição das rochas supracitadas.

CRONOLOGIA – Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

PEDROGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e suave ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Mista (com pinheiro)

USO ATUAL – Culturas anuais.

CLIMA – Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida; Murillo Pundek; José Augusto Laus Neto.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 16 cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/2,5, seco); muito argilosa; moderada muito pequena e pequena granular; muito friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

A2 16 – 32 cm; bruno escuro (7,5YR 3/2,5, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/2,5, seco); muito argilosa; moderada muito pequena e pequena granular e fraca a moderada média blocos subangulares; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

A3 32 – 43 cm; bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e grande blocos subangulares e moderada pequena granular; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

AB 43 – 62 cm; bruno escuro (7,5YR 3/3,5, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

BA 62 – 87 cm; bruno escuro (7,5YR 3/3,5, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seco); muito argilosa; moderada a fraca grande prismática que se desfaz em moderada média e

pequena blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; firme; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bt1 87 – 106 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno avermelhado (5YR 4/4,5, seco); muito argilosa; moderada a fraca grande prismática que se desfaz em moderada a fraca média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

Bt2 106 – 137 cm; bruno amarelado (5YR 4/6, úmida); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada a fraca média prismática que se desfaz em moderada a fraca média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; friável; plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

Bt3 137 – 210 cm; vermelho escuro (2,5YR 4/6, úmido); vermelho escuro (2,5YR 4/7, seco); muito argilosa; moderada média e pequena blocos subangulares; cerosidade moderada e comum, friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

OBSERVAÇÕES

Raízes: muitas, médias e finas no A1, A2; A3 comuns, finas e médias no AB, BApoucas e finas no Bt1 raras e finas no Bt2, Bt3.

Perfil descrito e coletado em dia muito nublado.

Atividade da Argila: Bw1: 9,8; Bw2: 7,7;

Relação Textural: 1,08.

PERFIL 38– Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico (Ponte Serrada).

DATA – 25/06/2008

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - BR-282 – trecho Vargeão – Ponte Serrada a 16,5Km após o trevo de Vargeão e a 3 km antes do acesso a Ponte Serrada. Ponte Serrada, SC.

COORDENADA– 26° 51' 22,9"S; 52° 02' 32,71" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – topo de elevação com 5% de declive sob culturas anuais.

ALTITUDE – 1065m.

LITOLOGIA – Efusivas ácidas – Dacito.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto de decomposição das rochas supracitadas.

CRONOLOGIA – Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

PEDROGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO– Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Mista (com pinheiros).

USO ATUAL – Culturas anuais.

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Murillo Pundek, João Bertoldo de Oliveira, César da Silva Chagas, José Augusto Laus Neto, Denílson Dortzbach, André da Costa.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 21 cm; bruno (7,5YR 4/2, úmido); bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, seco); muito argilosa; moderada média e pequena granular; firme; plástico a muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

A2 21 – 34 cm; bruno (7,5YR 4/3, úmido); bruno escuro (7,5YR 3/2, seco); muito argilosa; moderada média blocos subangulares e moderada média e pequena granular; firme; plástico a muito plástico e pegajoso; transição clara e plana.

AB 34 – 66 cm; bruno (7,5YR 4/4, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; friável; plástico a muito plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

BA 66 – 86 cm; bruno forte (7,5YR 5/6, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; friável; plástico a muito plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Bt1 86 – 130 cm; bruno forte (7,5YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 5/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média prismática que se desfaz em moderada a fraca média e

pequena blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; friável; plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Bt2 130 – 159 cm; bruno forte (6YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 5/8, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares e angulares; cerosidade moderada e pouca; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bt3 159 – 217 cm+; vermelho escuro (3,5YR 4/6, úmido); vermelho amarelado (5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; friável a firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

OBSERVAÇÕES:

Raízes: A1: poucas, muito finas e finas, A2; AB E Bt1: raras e finas, Ausente nos demais horizontes.

Atividade de Argila: Bt1: 12,9; Bt2: 10,1; Bt3: 9,6;

Relação Textural: 1,05.

PERFIL 39– Nitossolo Bruno Distrófico rúblico.

DATA – 24/06/2008

CLASSIFICAÇÃO ATUAL – Nitossolo Bruno Distrófico rúblico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO- SC-403, trecho Lebon Regis – Fraiburgo, a 1,5 Km após a ponte sobre o rio dos Patos, em barranco de estrada ao lado direito da rodovia, junto à placa em homenagem ao Deputado Onofre Santo Agostini. Município de Lebon Regis, SC.

COORDENADA– 26° 56' 47,6"S; 50° 42' 20,3" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – barranco de estrada com declividade de 3% (perfil) e 15 a 20% (regional), sob vegetação de capoeirão com araucária.

ALTITUDE – 1015 m.

LITOLOGIA – Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto de decomposição das rochas supracitadas.

CRONOLOGIA – Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

PEDROGOSIDADE – Não pedregoso.

ROCHOSIDADE – Não rochoso.

RELEVO LOCAL – Plano a suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Mista (com pinheiro).

USO ATUAL – Capoeirão com araucária.

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Murillo Pundek João Bertoldo de Oliveira, César da Silva Chagas, José Augusto Laus Neto, Denilson Dortzbach, André da Costa.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

O 3 – 0 cm; serrapilheira.

A1 0 – 4/7 cm; bruno escuro (7,5YR 3/3, úmido); bruno (7,5YR 4/4, seco); muito argilosa; forte muito pequena e pequena granular, friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

A2 4/7 – 19 cm; bruno escuro (7,5YR 3/4, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; fraca a moderada média blocos subangulares e moderada média e pequena granular; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

AB 19 – 28 cm; bruno avermelhado (5YR 4/3, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada pequena média blocos subangulares e moderada pequena granular; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

BA 28 – 46 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno forte (7,5YR, 5/6 seco); muito argilosa; moderada média blocos subangulares e moderada pequena granular;

cerosidade fraca e pouca; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

Bt1 46 – 74 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno forte (7,5YR 5/6, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em média moderada blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

Bt2 74 – 145 cm; vermelho amarelado (4YR 4/6, úmido); bruno forte (7,5YR 5/8, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em moderada média blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

BC 145 – 192/180 cm; vermelho amarelado (4YR 4/6, úmido); bruno claro (5YR 6/4, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em moderada média e grande blocos subangulares; plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

CR 180/192 – 202 cm; franco argilosa; basalto intemperizado com planos de fratura recobertos com óxidos de manganês .

OBSERVAÇÕES: Bolsões de basalto semi intemperizado no BC.

Perfil coletado em dia nublado sem sol.

Atividade biológica expressa até o Bt1.

Raízes: O – finas e abundantes, A2 – muitas e finas, AB – finas e comuns, BA/ Bt1 – poucas, Bt2/BC – raras.

Atividade da Argila: Bt1: 10,0; Bt2: 8,1;

Relação Textural: 1,11.

PERFIL 40– Nitossolo Bruno Distrófico típico.

DATA – 23/06/2008

CLASSIFICAÇÃO – Nitossolo Bruno Distrófico típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO- Trevo da BR-282 com a SC-438, pela SC-438 em direção a Paineira e São Joaquim, a 21,4Km do trevo e a 2,1Km após a Polícia Rodoviária, em barranco do lado esquerdo da rodovia. Município de Paineira, SC.

COORDENADA– 27° 53' 41,8"S; 50° 07' 45"W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – meia encosta com 15% de declive, sob campo com araucárias e matas de galeria.

ALTITUDE – 1130m.

LITOLOGIA – Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Serra Geral.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto da decomposição das rochas supracitadas.

CRONOLOGIA – Jurássica Triássico, Grupo São Bento.

PEDREGOSIDADE– Não pedregosa (no perfil).

ROCHOSIDADE – Moderadamente rochoso.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Mista (com pinheiro).

USO ATUAL – Pastagem.

CLIMA – Cfb

DESCRITO E COLETADO POR – Jaime Antonio de Almeida, Murillo Pundek João Bertoldo de Oliveira, César da Silva Chagas, José Augusto Laus Neto, Denílson Dortzbach, André da Costa.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 – 17 cm; (8YR 4/4, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca blocos subangulares e moderada pequena e média granular; ligeiramente duro a duro; friável a firme; plástico e pegajoso, transição gradual.

AB 17 – 43 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); bruno forte (7,5YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média prismática que se desfaz em moderada a fraca grande blocos subangulares; duro; firme; plástico e pegajoso; transição gradual.

BA 43 – 63 cm; bruno amarelado escuro (9YR 4/4, úmido); bruno amarelado escuro (10YR 4/6, seco); muito argilosa; moderada a fraca média prismática que se desfaz em moderada a fraca média blocos subangulares; firme; duro; plástico e pegajoso; transição difusa.

Bt1 63 – 94 cm; vermelho amarelado (8YR 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); muito argilosa; moderada grande prismática que se desfaz em moderada média blocos subangulares, duro; firme; plástico e pegajoso; transição difusa.

Bt2 94–127 cm; bruno amarelado escuro (9YR 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/8, seco); muito argilosa; moderada a forte prismática que se desfaz em moderada média e grande

blocos subangulares; cerosidade fraca e comum; firme; plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Bt3 127 – 146 cm; bruno amarelado escuro (10YR, 4/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); muito argilosa; moderada média prismática que se desfaz em moderada média e grande blocos angulares; cerosidade fraca e comum; firme; plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

Bt4 146 – 174 cm; bruno amarelado (10YR 5/6, úmido); bruno amarelado (10YR 5/6, seco); argilosa; moderada grande blocos subangulares; firme a muito firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta e plana.

BC 174 – 190 cm+.

OBSERVAÇÕES:

Bt1 – o consenso para a cerosidade foi fraca e pouca (Jaime: fraca e comum); (Bertoldo: moderada e comum).

Bt2 – cerosidade (Bertoldo: moderada e comum); (César: Moderada e pouca).

Bt3 – presença de cutans (ferri argilans) grau moderado na superfície dos blocos com cores 7,5YR 5/8.

Bt4 – presença de cutans de grau forte e comuns nas faces verticais (ferri argilans) com cores 7,5YR 5/8.

Na porção inferior do Bt4, próximo ao contato com a camada do manganês, observa-se cores de redução apresentando mosqueados com cores 7,5YR 5/8.

Raízes: As muitas e fasciculadas

AB – muitas e fasciculadas

BA – comuns Bt1 – poucas

Bt2/ Bt3/ Bt4 – raras

Atividade da Argila: Bt1: 10,0; Bt2:10,4; Bt3:10,4; Bt4:12,4;

Relação Textural:1,07.

PERFIL 41- Nitossolo Vermelho Alumínico húmico.

DATA:-

CLASSIFICAÇÃO - Nitossolo Vermelho Alumínico húmico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Bom Retiro, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Interflúvio.

COORDENADA- 27°43 '53,28"S; 49°47 '17,75"W.

ALTITUDE -872 m.

LITOLOGIA - Folhelho.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Teresina

CRONOLOGIA - Superior do Permiano, Grupo Passa Dois.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Folhelho.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado.

EROSÃO -.

DRENAGEM -.

USO ATUAL – Campo nativo.

CLIMA –

DESCRITO E COLETADO POR -

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-45 cm, úmido: Cinzento muito escuro (10YR 3/1), seco: Bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2).

AB 45-85 cm, úmido: Bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2), seco: Bruno-Escuro (10 YR 3/3).

BA 85-102 cm, úmido: Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3), seco: Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4).

Bt1 102-120 cm, úmido: Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4).

Bt2 120-147 cm, úmido: Vermelho-Escuro (2,5YR 3/6).

Bt3 147-180 cm, úmido: Vermelho-Escuro (2,5YR 3/6).

BC 180 + cm.

PERFIL 42- Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico.

DATA: 29/09/2001.

CLASSIFICAÇÃO - Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico.

UNIDADE DE MAPEAMENTO – Erexim (UF SM & SUDESUL, 1973).

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Na estrada vicinal, a 5,9 km do perfil 11, na BR 386, muito próximo (cerca de 200m) da entrada para a localidade de Ervalzinho em Descanso, SC.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Perfil coletado e descrito em barranco de corte de estrada, no topo do Vale.

COORDENADAS- 26°51 '36,12"S; 53°29 '46,28"W.

ALTITUDE - 537 m.

LITOLOGIA – Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral.

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do basalto.

PEDREGOSIDADE - Pedregoso.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL - Ondulado.

DRENAGEM - Bem drenado.

USO ATUAL - Pastagem.

CLIMA - Cfa (Köppen)

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio Almeida, Janaina Corrêa e Èlen Ramos Nichéle.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 21 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmido e 7,5YR 3/3); moderada, média e pequena granular; ligeiramente duro, friável, plástico, transição clara e plana.

A2 21 – 35 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno avermelhado (5YR 4/4, seco); moderada pequena e média granular; duro, friável. Transição clara e plana.

BA 35 – 50 cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 2,5/4, úmido e 5YR 3/4, seco); moderada média e grande em blocos subangulares, cerosidade forte e abundante; dura, friável, transição clara e plana.

B1 50 – 84 cm, bruno aveimelhado escuro (5YR 3/4, úmido e 5YR 3/3, seco); moderada, média e grande em blocos angulares e subangulares, cerosidade forte e abundante; duro, friável, transição difusa e plana.

B2 84 -150 cm, bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido) e avermelho amarelado (5YR 4/6, seco); moderada, grande em blocos subangulares, cerosidade moderada e comum; dura friável, transição difusa e plana.

B3 150- 200 + cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido) e bruno avermelhado (5YR 4/4, seco); moderada, grande em blocos subangulares, cerosidade fraca e pouca; dura friável, transição difusa e plana.

PERFIL 43 Nitossolo Vermelho Eutroférico típico.

DATA: 24/07/97.

CLASSIFICAÇÃO - Nitossolo Vermelho Eutroférico típico.

UNIDADE MAPEAMENTO - Ciríaco - Charrua (UFSM & SUDESUL, 1973).

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO - Rodovia Piratuba - Peritiba, 10 km após o Rio do Peixe em Ipira, SC.

COORDENADA- 27°22 '42,14"S;51°49 '46,9"W.

ALTITUDE -707 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Descrito e coletado em barranco de corte de estrada, em topo de elevação, em área de relevo ondulado, cerca de 10% de declive, sob vegetação de mata nativa.

LITOLOGIA - Basalto Amigdalóide.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produtos da alteração da rocha supracitada, com influência de material retrabalhado de origem basáltica.

PEDROGOSIDADE - Ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não rochoso

RELEVO LOCAL - Ondulado.

RELEVO REGIONAL - Ondulado.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

USO ATUAL - Área com mata nativa.

CLIMA - Cfb (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio Almeida, Janaina Corrêa e Joelcio Gmach.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA.

A 0 - 25/30 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmido), e (7,5YR 3/4, seco); argilosa, moderada muito pequena e pequena granular; ligeiramente duro, friável transição clara e ondulada.

BA 25/30 - 43 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido) e bruno avermelhado (5YR 4/4, seco); argilosa, moderada muito pequena e pequena granular; duro, friável, transição clara e plana.

Bt1 43 - 75 cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 2,5/4, úmido) e vermelho escuro (2,5YR 3/6, seco); argilosa, pequena e muito pequena em blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; superfície de compressão abundantes, muito duro, friável; transição gradual e plana.

Bt2 75-127/150 cm, bruno avermelhado escuro (2,5YR 2,5/4, úmido) e vermelho escuro (2,5YR 3/6, seco); argilosa, moderada pequena em blocos subangulares; cerosidade moderada e pouca; superfície de compressão comuns, duro, muito fiável; transição clara e irregular.

BC 127/150 -158/190 cm+, bruno avermelhado escuro (2,5YR 2,5/3, úmido) e

veinielho escuro (2,5YR 3/6, seco); argilosa, moderada pequena e muito pequena em blocos subangulares; superfícies de compressão comuns, duro, friável; transição clara e irregular.

CR Coletado.

RAÍZES - Muitas no A e AB, comuns no Btl e raras no Bt2.

OBSERVAÇÕES - Entre o horizonte A e o BA há grande quantidade de linhas de pedras, de tamanhos que variam desde dois a vinte centímetros de diâmetro.

PERFIL 44- Nitossolo Vermelho Eutrófico típico.

DATA: 22/07/97.

CLASSIFICAÇÃO - Nitossolo Vermelho Eutrófico típico.

UNIDADE MAPEAMENTO - Ciríaco - Charrua (UF SM & SUDESUL, 1973)

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO- Estrada Luzerna-Água Doce, 3,3 km abaixo do perfil 3, Luzerna, SC.

COORDENADA- 27°6 '42,22"S; 51°28 '39,24"W.

ALTITUDE - 578 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Descrito e coletado em barranco de corte de estrada, em terço médio de encosta com aproximadamente 25% de declive.

LITOLOGIA - Basalto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Serra Geral

CRONOLOGIA - Jurássico Triássico, Grupo São Bento.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do basalto, com forte influência de cobertura de material detrítico evidenciado por linhas de pedras entre o horizonte A e Bt.

RELEVO LOCAL - Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL - Forte ondulado.

CLIMA- Cfb.

DESCRITO E COLETADO POR - Jaime Antonio Almeida, Janaina Corrêa e Joelcio Gmach.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA.

A1 0 – 30 cm, (3,5YR 3/4, úmido), e (3,5YR 4/6, seco); moderada muito pequena e pequena granular; ligeiramente duro, friável.

AB 0 – 78 cm, vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/6, seco); moderada muito pequena em blocos subangulares; ligeiramente duro, friável.

2Bt 78 – 160 cm, vermelho (2,5YR 4/6, úmido e 2,5YR 4/7, seco); moderada muito pequena em blocos subangulares; superfícies de compressão comuns; ligeiramente duro, friável.

2BC 160 - 195cm+, vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/6, seco); moderada muito pequena e pequena em blocos subangulares; superfícies de compressão comuns; ligeiramente duro, friável.

CR Coletado.

R Coletado.

OBSERVAÇÕES - Grande quantidade de fragmentos: sílica, calcedônia, quartzo e sílex.

APÊNDICES

Apêndice 1. Caracterização química e física do perfil Argissolo Amarelo Alítico típico.	380
Apêndice 2. Caracterização química e física do perfil Argissolo Amarelo Distrófico típico...	381
Apêndice 3. Caracterização química e física do perfil Argissolo Vermelho Distrófico abruptico.	382
Apêndice 4. Caracterização química e física do perfil Argissolo Amarelo Eutrófico típico.	383
Apêndice 5. Caracterização química e física do perfil Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico	384
Apêndice 6. Caracterização química e física do perfil Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico (Blumenau).	385
Apêndice 7. Caracterização química e física do perfil Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico (Gaspar).	386
Apêndice 8. Caracterização química e física do perfil Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico.	387
Apêndice 9. Caracterização química e física do perfil Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.	388
Apêndice 10. Caracterização química e física do perfil Cambissolo Háptico Alítico típico.	389
Apêndice 11. Caracterização química e física do perfil Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico.	390
Apêndice 12. Caracterização química e física do perfil Cambissolo Húmico Alumínico típico.	391
Apêndice 13. Caracterização química e física do perfil Cambissolo Húmico Alumínico típico.	392
Apêndice 14. Caracterização química e física do perfil Cambissolo Húmico Distrófico organossólico.	393
Apêndice 15. Caracterização química e física do perfil Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico.....	394
Apêndice 16. Caracterização química e física do perfil Chernossolo Argilúvico Férrico típico (Descanso).....	395
Apêndice 17. Caracterização química e física do perfil Chernossolo Argilúvico Férrico típico (Ipira).	396
Apêndice 18. Caracterização química e física do perfil Chernossolo Háptico Férrico típico.	397
Apêndice 19. Caracterização química e física do perfil Latossolo Amarelo Distrófico argissólico.	398
Apêndice 20. Caracterização química e física do perfil Latossolo Bruno Distrófico nitossólico húmico.	399

Apêndice 21. Caracterização química e física do perfil Latossolo Vermelho Distroférico Húmico.....	400
Apêndice 22. Caracterização química e física do perfil Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico.....	401
Apêndice 23. Caracterização química e física do perfil Latossolo Vermelho Eutroférico típico.	402
Apêndice 24. Caracterização química e física do perfil Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico.	403
Apêndice 25. Caracterização química e física do perfil Neossolo Litólico Chernossólico típico.	404
Apêndice 26. Caracterização química e física do perfil Neossolo Litólico Distrófico típico.	405
Apêndice 27. Caracterização química e física do perfil Neossolo Litólico Húmico típico (Ponte Alta).....	406
Apêndice 28. Caracterização química e física do perfil Neossolo Litólico Húmico típico (São Joaquim).....	407
Apêndice 29. Caracterização química e física do perfil Neossolo Quartzârenico Órtico típico (Araquari).....	408
Apêndice 30. Caracterização química e física do perfil Neossolo Quartzârenico Órtico típico (Araranguá).....	409
Apêndice 31. Caracterização química e física do perfil Neossolo Quartzârenico Órtico típico (Imbituba).	410
Apêndice 32. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Alumínico rúbico....	411
Apêndice 33. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distroférico húmico.....	412
Apêndice 34. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distroférico típico (Luzerna).....	413
Apêndice 35. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distroférico típico (Santa Cecília).....	414
Apêndice 36. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distroférico típico...	415
Apêndice 37. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico (Curitibanos).....	416
Apêndice 38. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico (Ponte Serrada).....	417
Apêndice 39. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distrófico rúbico.....	418
Apêndice 40. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distrófico típico.	419
Apêndice 41. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Vermelho Alumínico húmico.....	420

Apêndice 42. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Vermelho Eutrófico chernossólico.....	421
Apêndice 43. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Vermelho Eutrófico típico.	422
Apêndice 44. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Vermelho Eutrófico típico.	423

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Apêndice 5. Caracterização química e física do perfil Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico

[illegible]

Apêndice 8. Caracterização química e física do perfil Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico.

[illegible]

Apêndice 9. Caracterização química e física do perfil Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.

[illegible]

Apêndice 10. Caracterização química e física do perfil Cambissolo Háplico Alítico típico.

[illegible]

Apêndice 12. Caracterização química e física do perfil Cambissolo Húmico Alumínico típico.

[illegible]

Apêndice 13. Caracterização química e física do perfil Cambissolo Húmico Alumínico típico.

[illegible]

Apêndice 14. Caracterização química e física do perfil Cambissolo Húmico Distrófico organossólico.

[illegible]

[illegible]

Apêndice 16. Caracterização química e física do perfil Chernossolo Argilúvico Férreo típico (Descanso).

[illegible]

Apêndice 17. Caracterização química e física do perfil Chernossolo Argilúvico Férreo típico (Ipira).

[illegible]

[illegible]

Apêndice 19. Caracterização química e física do perfil Latossolo Amarelo Distrófico argissólico.

[illegible]

[illegible]

Apêndice 22. Caracterização química e física do perfil Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico.

[illegible]

Apêndice 23. Caracterização química e física do perfil Latossolo Vermelho Eutroférico típico.

[illegible]

Apêndice 24. Caracterização química e física do perfil Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico.

[illegible]

[illegible]

Apêndice 26. Caracterização química e física do perfil Neossolo Litólico Distrófico típico.

[illegible]

Apêndice 27. Caracterização química e física do perfil Neossolo Litólico Húmico típico (Ponte Alta).

[illegible]

Apêndice 29. Caracterização química e física do perfil Neossolo Quartzârenico Órtico típico (Araquari).

[illegible]

Apêndice 31. Caracterização química e física do perfil Neossolo Quartzârenico Órtico típico (Imbituba).

[illegible]

Apêndice 32. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Alumínico rúbrico.

[illegible]

Apêndice 33. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distroférrico húmico.

[illegible]

Apêndice 35. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distroférrico típico (Santa Cecília).

[illegible]

Apêndice 36. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distroférico típico.

[illegible]

Apêndice 37. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbrico (Curitibanos).

[illegible]

Apêndice 38. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbrico (Ponte Serrada).

[illegible]

Apêndice 39. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Bruno Distrófico rúbrico.

[illegible]

[illegible]

Apêndice 41. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Vermelho Alumínico húmico.

[illegible]

Apêndice 43. Caracterização química e física do perfil Nitossolo Vermelho Eutróférico típico.

[illegible]

