

CLOVISSON MENOTTI BOEIRA DE OLIVEIRA

**QUANTIFICAÇÃO DE FORMAS DE FÓSFORO EM
DIFERENTES TIPOS DE SOLO E USOS EM SANTA
CATARINA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação de Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni

**LAGES, SC
2014**

O48q

Oliveira, Clovisson Menotti Boeira de

Quantificação de formas de fósforo em diferentes tipos de solo e usos em Santa Catarina / Clovisson Menotti Boeira de Oliveira. - Lages, 2014.

234p : il. ; 21 cm

Orientador: Luciano Colpo Gatiboni

Bibliografia: p. 173-196

Tese (doutorado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveteinárias, Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo, Lages, 2014.

1. Fracionamento químico de fósforo. 2. Ressonância magnética nuclear. 3. Formas inorgânicas de fósforo. 4. Formas orgânicas de fósforo. 5. Dejetos líquidos de suínos. I. Oliveira, Clovisson Menotti Boeira de. II. Gatiboni, Luciano Colpo. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo. IV. Título

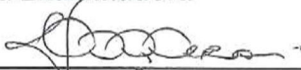
CDD: 631.41 - 20.ed.

CLOVISSON MENOTTI BOEIRA DE OLIVEIRA

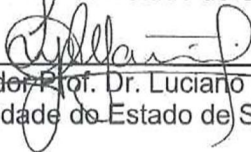
**QUANTIFICAÇÃO DE FORMAS DE FÓSFORO EM
DIFERENTES TIPOS DE SOLO E USOS EM SANTA
CATARINA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Manejo do Solo.

Banca Examinadora



Presidente Prof. PhD. Paulo Roberto Ernani
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

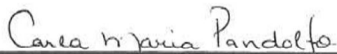


Orientador Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membros



Prof. Dr. Gustavo Brunetto
Universidade Federal de
Santa Maria – UFSM



Pesq. Dra. Carla Maria Pandolfo
Empresa de Pesquisa
Agropecuária de Santa Catarina
– EPAGRI



Prof. Dr. Paulo Cezar Cassol
Universidade do Estado de
Santa Catarina – UDESC



Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de
Santa Catarina – UDESC

Lages, SC 16 de maio de 2014

A minha esposa Vanessa.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Deus pela vida e saúde.

A minha esposa Vanessa, aos meus pais Clovis e M^a Elisabeth e aos meus familiares, pelo incentivo e apoio.

Ao professor Luciano Colpo Gatiboni pela amizade, orientação, dedicação e pelos conhecimentos transmitidos que fundamentaram a realização desse trabalho.

A todos os colegas de Mestrado e Doutorado, pela amizade e convívio durante o curso.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação do Departamento de Solos da UDESC, pelo convívio e ensinamentos.

Aos funcionários do Departamento de Solos do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias pela competência profissional e sensibilidade no atendimento aos discentes.

Ao bolsista de iniciação científica, Eduardo Zago pela ajuda do desenvolvimento dos trabalhos.

A UDESC como instituição de ensino gratuito e de qualidade.

A CAPES e CNPQ, como agências de fomento que aportaram recursos financeiros ao projeto da pesquisa e a bolsa de estudos.

A University of Maine – EUA e a pesquisadora e professora PhD. Erich Susan como parceiros aos trabalhos do projeto da pesquisa, através do programa de Doutorado Sanduíche no exterior da CAPES.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram para minha formação profissional e pessoal.

RESUMO

OLIVEIRA, C. M. B. **Quantificação de formas de fósforo em diferentes tipos de solo e usos em Santa Catarina.** 2014. 234p. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2014.

O conteúdo total de fósforo (P) do solo é distribuído em formas com diferentes graus de labilidade. A distribuição das formas de P podem ser afetadas pelo tipo de solo e o manejo adotado durante seu uso. O trabalho foi composto de três estudos. O primeiro estudo quantificou o estoque das formas de P inorgânicas e orgânicas no horizonte superficial e nos perfis de 42 solos de seis ordens no Estado de Santa Catarina (SC). Após a coleta, as amostras foram submetidas ao fracionamento químico de P de Hedley. No segundo estudo foi realizado o fracionamento químico de P e análise de ressonância magnética nuclear de P (RMN) em amostras de solo de áreas de pomar de maçeira, campo nativo e florestamento de pinus com alto teor de matéria orgânica. O terceiro estudo consistiu na avaliação das formas de P em solos com diferentes teores de argila que foram submetidos a aplicações de dejetos líquidos de suínos. As amostras de solo foram coletadas em três regiões do Estado de SC e submetidas ao fracionamento químico de P. No estudo 1 os solos mais intemperizados apresentaram maiores estoque de P total enquanto os solos menos intemperizados apresentaram maiores teores de P lábil e P orgânico. No segundo estudo os

resultados do fracionamento químico e RMN de P mostraram que a conversão de ecossistemas naturais em áreas cultivadas alterou a distribuição das formas de P no solo, onde as frações orgânicas foram reduzidas em sistemas de cultivo sem a adição de fertilizantes fosfatados. Os resultados do terceiro estudo mostraram que a adição de dejetos líquidos de suínos por longo prazo aumentou o teor em todas as formas de P avaliadas pelo fracionamento, principalmente em formas inorgânicas, sendo mais acumulado na camada superficial do solo. Nos solos com textura arenosa houve acúmulo de P principalmente nas frações lábeis e em solos de textura argilosa houve acúmulo de P principalmente em formas de menor labilidade.

Palavras-chave: Fracionamento químico de fósforo. Ressonância magnética nuclear. Formas inorgânicas de fósforo. Formas orgânicas de fósforo. Dejetos líquidos de suínos.

ABSTRACT

OLIVEIRA, C. M. B. Quantification of soil phosphorus forms in different types of soil and management in Santa Catarina 2014. 234p. Thesis (Soil Management) - University of the Santa Catarina State. Program Graduate in Agricultural Sciences, Lages, 2014.

The total content of phosphorus (P) is distributed in the soil forms with different degrees of lability, being the distribution of the forms affected by type soils and soil management. The work consisted of three studies, being that the first study quantified the stock of the forms of inorganic and organic P in the surface horizon and in 42 profiles soil of six orders in the Santa Catarina State. After collection, the samples were subjected to chemical fractionation of P Hedley. The soils most weathered had higher stock of P total, while the soils less weathered showed higher levels of labile organic P. In the second study was conducted fractionation analysis of P and P nuclear magnetic resonance (NMR) in soil agroecosystems with high organic matter content. The areas were evaluated in apple orchard, native grass and pine plantation. The results of chemical fractionation and NMR of P, showed that the conversion of natural ecosystems to areas cultivated altered the distribution of P forms in soil, where the fractions organic were reduced in culture without the addition of phosphate fertilizer systems. The third study involved the assessment of forms of P in soils with different clay contents that subjected the applications of liquid swine manure. Soil samples were collected in three regions of Santa

Catarina State and subjected to chemical fractionation of P. The results showed that the addition of liquid swine manure for long term increased the content of all forms of P evaluated by fractionation, mainly in inorganic forms, with more accumulated in the topsoil. In soils with sandy texture there accumulation of labile P, and in soils clay there accumulation the of forms lower lability.

Key-words: Chemical phosphorus fractionation. ^{31}P Nuclear magnetic resonance spectroscopy. Forms of inorganic phosphorus. Forms of organic phosphorus. Pig slurry.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Ordem de solo, localização, horizontes amostrados, altitude e uso do solo dos 44 perfis de solos do Estado de SC.39
- Tabela 2. Estoque de P das formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis no horizonte A, nos horizontes subsuperficiais e a proporção (%) entre o horizonte A e o total do perfil dos solos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais.....58
- Tabela 3. Estoque de P das formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis no horizonte A, nos horizontes subsuperficiais e a proporção (%) entre o horizonte A e o total do perfil dos solos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados.....59
- Tabela 4. Estoque de P das formas inorgânicas e orgânicas no horizonte A e no perfil dos solos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais.....68

Tabela 5. Estoque de P das formas inorgânicas e orgânicas no horizonte A e no perfil dos solos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados. 69

Tabela 6: Atributos químicos e físicos da camada de 0 – 10 cm de um Cambissolo Húmico, coletado em áreas sem aplicação de fertilizantes fosfatados, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense. 86

Tabela 7. Teores de P inorgânico e orgânico das frações pelo fracionamento de Hedley, em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense..... 96

Tabela 8. Formas inorgânicas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil e orgânicas de P lábil e moderadamente lábil, em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense. 98

Tabela 9. Teores de P geoquímico, P biológico e o percentual de Po em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense..... 99

Tabela 10. Teores de P total por digestão ácida, P orgânico total por ignição e P total do somatório das frações do fracionamento químico em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.101

Tabela 11. Teores de P total do solo, P em extrato de NaOH – EDTA filtrado e não filtrado, em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.107

Tabela 12. Valores dos deslocamentos químicos nos espectros calibrados com ortofosfato a 6,2 ppm e com linha referência de 5 Hz, em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.110

Tabela 13. Teores de P extraído por NaOH + EDTA identificados por ^{31}P – RMN, P orgânico total extraído por ignição, P total extraído por digestão ácida em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.116

Tabela 14. Percentual de P inorgânico e orgânico estimados pelo fracionamento químico, métodos químicos e ^{31}P – RMN, em amostras de Cambissolo Húmico coletadas da camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense..... 119

Tabela 15. Atributos da camada de 0 – 20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico no ano de instalação do experimento a campo. Médias de quatro amostras compostas de 10 sub-amostras. Campos Novos/SC, 2001..... 134

Tabela 16. Atributos da camada de 0 – 10 cm de um Argissolo Vermelho Amarelo no ano de instalação do experimento a campo. Braço do Norte/SC, 2002..... 135

Tabela 17. Atributos químicos e físicos da camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de Latossolo e Argissolo coletados em Campos Novos e Braço do Norte, respectivamente, em áreas sem e com a aplicação de dejetos líquidos de suínos. 137

Tabela 18. Frações de P inorgânico e orgânico extraídos pelo fracionamento químico de Hedley em amostras de solo coletadas na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, submetidos a adição de DLS por longo período, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte. 149

Tabela 19. Formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil nos solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.....151

Tabela 20. Formas de P biológico, geoquímico, orgânico e inorgânico total nos solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.154

Tabela 21. Frações de P inorgânico e orgânico extraídos pelo fracionamento químico de Hedley em amostras de solo coletadas na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, submetidos a adição de DLS por longo período, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.157

Tabela 22. Formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil nos solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.....159

Tabela 23. Formas de P biológico, geoquímico, orgânico e inorgânico total nos solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados nas camadas de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte..... 161

Tabela 24. Frações de P inorgânico e orgânico extraídos pelo fracionamento químico de Hedley entre solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.. 166

Tabela 25. Formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil entre solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte. 168

Tabela 26. Formas de P biológico, geoquímico, orgânico e inorgânico total entre solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte..... 170

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Distribuição geográfica dos 44 perfis de solo no Estado de Santa Catarina.....37
- Figura 2. Organograma das frações de P pelo fracionamento químico. P_i = P inorgânico. P_o = P orgânico. RTA = resina trocadora de ânions. $NaHCO_3$ = bicarbonato de sódio. HCl = ácido clorídrico. $NaOH$ = hidróxido de sódio.46
- Figura 3. Estoque ($kg\ ha^{-1}$) e proporção (%) das formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil no horizonte A de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais.....54
- Figura 4. Estoque ($kg\ ha^{-1}$) e proporção (%) das formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil no horizonte A de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados.....55
- Figura 5. Estoque ($kg\ ha^{-1}$) e proporção (%) das formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil no perfil do solo de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais.....56

Figura 6. Estoque (kg ha^{-1}) e proporção (%) das formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil no perfil do solo de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados. 57

Figura 7. Estoque das formas de P inorgânicas (Pi-RTA , Pi-NaHCO_3 , Pi-NaOH 0,1 , Pi-HCl , Pi-NaOH 0,5 , P-residual) e formas orgânicas (Po-NaHCO_3 , Po-NaOH 0,1 , Po-NaOH 0,5) no horizonte A de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais. 64

Figura 8. Estoque das formas de P inorgânicas (Pi-RTA , Pi-NaHCO_3 , Pi-NaOH 0,1 , Pi-HCl , Pi-NaOH 0,5 , P-residual) e formas orgânicas (Po-NaHCO_3 , Po-NaOH 0,1 , Po-NaOH 0,5) no horizonte A de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados. 65

Figura 9. Estoque das formas de P inorgânicas (Pi-RTA , Pi-NaHCO_3 , Pi-NaOH 0,1 , Pi-HCl , Pi-NaOH 0,5 , P-residual) e formas orgânicas (Po-NaHCO_3 , Po-NaOH 0,1 , Po-NaOH 0,5) em perfis de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais. 66

Figura 10. Estoque das formas de P inorgânicas (Pi-RTA, Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1, Pi-HCl, Pi-NaOH 0,5, P-residual) e formas orgânicas (Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1, Po-NaOH 0,5) em perfis de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados...67

Figura 11. Organograma das frações de P pelo fracionamento químico. Pi = P inorgânico. Po = P orgânico. RTA = resina trocadora de ânions. NaHCO₃ = bicarbonato de sódio. HCl= ácido clorídrico. NaOH = hidróxido de sódio.92

Figura 12. Percentual da proporção da participação das frações de P lábil, P moderadamente lábil e P não lábil em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.103

Figura 13. Percentual de P orgânico mineralizável, obtido pela relação entre a fração P orgânico lábil e as formas lábeis de P em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade em três, agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense. % P orgânico mineralizável = $(Po\ NaHCO_3 / (Pi\ RTA + Pi\ NaHCO_3 + Po\ NaHCO_3)) * 100$. .105

Figura 14. Espectros de ressonância magnética nuclear de ^{31}P de extratos de solução de NaOH–EDTA em agroecossistemas de florestamento de pinus, pomar de macieira na linha, pomar de macieira na entrelinha e campo nativo, coletados da camada de 0 – 10 cm de profundidade. Os espectros foram plotados com linha de referência de 5 Hz e o sinal do ortofosfato ajustado para 6,2 ppm. As letras indicam os grupos de fosfatos presentes na Tabela 12. 112

Figura 15. Organograma das frações de P pelo fracionamento químico. Pi = P inorgânico. Po = P orgânico. RTA = resina trocadora de ânions. NaHCO_3 = bicarbonato de sódio. HCl= ácido clorídrico. NaOH = hidróxido de sódio..... 142

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	27
2 DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES DE FÓSFORO EM SOLOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA	29
2.1 INTRODUÇÃO	29
2.2 REVISÃO DE LITERATURA	31
2.3 OBJETIVOS	35
2.3.1 Objetivos	35
2.4 MATERIAL E MÉTODOS	36
2.4.1 Descrição e caracterização dos solos	36
2.4.2 Coleta de amostras de solo	37
2.4.3 Análises	42
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
2.5.1 Formas de P lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis nos solos	47
2.5.2 Formas inorgânicas e orgânicas de P nos solos	60
2.6 CONCLUSÕES	69
3 FRACIONAMENTO QUÍMICO E RESSONÂNCIA NUCLEAR MAGNÉTICA DO FÓSFORO EM USOS DO SOLO EM AMBIENTE DE ALTITUDE EM SANTA CATARINA	71
3.1 INTRODUÇÃO	71
3.2 REVISÃO DE LITERATURA	73

3.3 HIPÓTESES E OBJETIVOS	82
3.3.1 Hipóteses	82
3.3.2 Objetivos	82
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	82
3.4.1 Descrição do local e caracterização do solo	82
3.4.2 Coleta e análise químicas e físicas dos solos	85
3.4.3 Análise de Ressonância Magnética Nuclear de P (³¹P RMN)	87
3.4.4 Fracionamento químico de P	88
3.4.5 Análise estatística	92
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
3.5.1 Fracionamento químico das formas de P ..	93
3.5.2 Formas de P por ³¹P – RMN	106
3.5.3 Relações entre as formas inorgânicas e orgânicas de P	117
3.6 CONCLUSÕES.....	121
4 FORMAS DE P EM SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS COM APLICAÇÕES DE DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS POR LONGO PERÍODO	123
4.1 INTRODUÇÃO.....	123
4.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	126
4.3 HIPÓTESES E OBJETIVO	132
4.3.1 Hipóteses	132

4.3.2 Objetivo	132
4.4 MATERIAIS E MÉTODOS	133
4.4.1 Descrição do local e caracterização do solo	133
4.4.2 Amostragem dos solos	133
4.4.3 Características dos locais amostrados	133
4.4.4 Análises químicas e físicas	136
4.4.5 Fracionamento químico de fosforo	139
4.4.6 Análise estatística	143
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	143
4.5.1 Comparação do efeito de DLS sobre as formas de P em cada solo	143
4.5.2 Comparação do efeito de DLS sobre as formas de P em profundidade	155
4.5.3 Comparação do efeito de DLS sobre as formas de P entre os locais	162
4.6 CONCLUSÕES	171
6 REFERÊNCIAS	173
7 APÊNDICES	197
8 ANEXOS	221

1 INTRODUÇÃO GERAL

A dinâmica do P no solo envolve processos biogeoquímicos, os quais definem a distribuição de P nas formas do solo. A distribuição de P no solo é representada por formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis, sendo que os teores de P inorgânico e orgânico em cada uma delas são variáveis em função do tipo de solo, cultivo, clima e teor de matéria orgânica. Contudo, nos solos em ambientes naturais os teores de P dependem do material de origem, o qual influencia muitas propriedades físicas e químicas dos solos, devido fundamentalmente às diferenças nas características texturais, composição química e mineralógica da fração mineral do solo. Em solos intemperizados e de ambientes naturais o P orgânico constitui uma fração importante do P total, principalmente do P lábil, sendo convertido em P inorgânico através de mineralização. Entretanto, em condições de cultivo que recebem adubações fosfatadas, o P inorgânico é mais importante do que o P orgânico.

As formas inorgânicas e orgânicas de P presentes nos solos podem ser quantificadas por métodos de extração química que envolve a extração sequencial com reagentes seletivos.

As relações das formas de P no solo e sua disponibilidade são questões relevantes e o uso da técnica do fracionamento químico de P, que determina a quantidade e distribuição das formas de P no solo, é útil na investigação detalhada da dinâmica de P no solo em diferentes ecossistemas.

Porém, o fracionamento químico não fornece informações sobre o tipo de estrutura dos compostos orgânicos extraídos e, para essas formas de P, a técnica de espectroscopia de ressonância magnética nuclear de

fósforo (^{31}P RMN) possibilita avanços importantes na identificação desses compostos.

Neste trabalho se buscou usar as técnicas do fracionamento químico e a ressonância magnética nuclear de P para estudar a distribuição das formas inorgânicas e orgânicas de P influenciadas pelo tipo de solo e manejo em solos do Estado de Santa Catarina.

2 DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES DE FÓSFORO EM SOLOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA

2.1 INTRODUÇÃO

O P é um dos nutrientes essenciais às plantas e a fonte do nutriente para o sistema é o solo. No solo o P pode ser encontrado em formas inorgânicas e orgânicas. A distribuição de P no solo se diferencia pela sua solubilidade, a qual é estabelecida pela energia de ligação com os colóides, definindo assim as formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis. Nas formas inorgânicas lábeis, o P está ligado com menor energia de ligação aos colóides do solo através de ligações monodentadas, e pode ser disponibilizada na solução do solo maior com facilidade. Já as formas orgânicas lábeis são representadas pelo P contido em materiais orgânicos de fácil mineralização. As formas moderadamente lábeis são representadas pelo P quimissorvido aos oxihidróxidos de ferro, alumínio e argilominerais que estão presentes nos solos e por causa da sua facilidade em formar complexos de alta energia; sua dessorção é lenta e pode ocorrer apenas em médio e longo prazos. Também está nesse grupo o P contido na matéria orgânica estável do solo. Por último, as formas não lábeis são representados por compostos inorgânicos e orgânicos recalcitrantes, cuja energia de ligação do fosfato com o composto é intensa que praticamente impede sua liberação para a solução do solo.

As formas inorgânicas de P no solo estão relacionadas com o material de origem, o qual ocorre na forma de minerais primários, os quais constituem as rochas. O principal mineral primário relacionado a fonte de P são as apatitas, que são dissolvidas durante o

processo de intemperismo. Assim, nos solos jovens as características se relacionam com o material de origem, ou seja, as rochas podem apresentar na sua composição estrutural, os minerais primários como as apatitas, as quais são a fonte de P para o sistema a partir do desenvolvimento do solo. Já em solos desenvolvidos o processo de intemperismo resulta na transformação dos minerais primários em minerais secundários, argilominerais e óxidos de ferro e alumínio, estabelecendo assim maior adsorção das formas inorgânicas ligadas à fração mineral (Walker & Syers, 1976), e menor disponibilidade com o avanço do intemperismo, o que caracteriza esses ambientes como dreno de P. Desta maneira, os fatores que atuam na formação do solo podem condicionar que solos com o mesmo material de origem desenvolva características diferentes, devido à influência como o clima, organismos vivos e relevo.

Com o avanço do intemperismo, através de precipitações pluviométricas e temperatura ocorrem transformações no solo, como acúmulo de matéria orgânica, lixiviação das bases, atividade biológica, pH do solo, entre outros. Outro fator que influencia na disponibilidade de P às plantas está associada às condições climáticas favoráveis aos organismos vivos (Rheinheimer et al. 2008), que desempenham um papel importante no processo de decomposição e mineralização do material orgânico gerado pelas plantas e outros organismos vivos. Outra característica que atua na dinâmica de P é o relevo, sendo que os solos que se encontram em depressões, planícies e planaltos, estão sujeitos a processos de erosão, infiltração de água, drenagem e, por isso, sujeitos a adições ou perdas de matéria que podem afetar a dinâmica do P no solo.

Enfim, em função dos fatores que atuam na formação do solo, as diferentes ordens de solos podem ter distintas quantidades de P segundo a labilidade.

O estudo objetivou avaliar a distribuição das formas de P segundo sua labilidade em diferentes tipos de solos do Estado de SC.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

O P é um nutriente essencial para as plantas e a quantificação de suas formas em sistemas naturais e agrícolas é essencial para entender sua dinâmica no solo. No solo o P pode estar em formas inorgânicas e orgânicas, dependendo da natureza do composto a que está ligado. As formas inorgânicas de P são encontradas na solução do solo, nos minerais primários, precipitadas e adsorvidas à oxihidróxidos de ferro e alumínio e adsorvidas aos colóides do solo (GATIBONI et al. 2013). Em sistemas naturais, o envolvimento das formas de P do solo está associado aos fatores que atuam na formação do solo. A transformação dos minerais primários em minerais secundários através do intemperismo promove a liberação do P contido nesses minerais e o P liberado pode ser absorvido pelas plantas e microrganismos, representando um caráter do solo como fonte de P. Em função da ciclagem dos resíduos orgânicos pelos microrganismos através de processos de imobilização e mineralização são acumuladas as formas orgânicas de P no solo. As frações orgânicas de P estão relacionadas à formas lábeis, de fácil acesso pelos microrganismos, e às formas moderadamente lábeis e não lábeis associadas aos compostos húmicos e fisicamente protegidos no interior dos microagregados.

Com o avanço do processo de intemperismo há o rompimento da rede cristalina dos minerais primários e a

remoção dos íons, e o solo passa a constituir principalmente argilominerais do tipo 1:1 e óxidos de ferro e alumínio, no qual parte do P liberado dos minerais primários são adsorvidos a esses colóides do solo em formas inorgânicas, representando nesse estágio de formação um caráter do solo de dreno de P.

Nos processos de intemperismo são definidas as características físicas, químicas e mineralógicas dos solos, onde influenciam na distribuição das formas de P no solo. Fatores relacionados como o manejo do solo, a absorção de P pelas plantas, a adição de adubação fosfatada, a calagem e a adição de material orgânico estão relacionadas com a alteração da dinâmica de P no solo (TIESEN et al. 1992; RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2001; SOUZA et al. 2007). A textura do solo afeta diretamente a distribuição das formas de P no solo (Souza et al. 2006; Eberhardt et al. 2008), onde essa influência está relacionada com a mineralogia da fração argila, ou seja, os teores de óxidos de ferro e alumínio. Com o avanço do intemperismo há transformação dos colóides da fração mineral permanecendo um maior teor relativo de óxidos de ferro e alumínio, promovendo nesses ambientes alta capacidade adsortiva de P, com maior proporção de P acumulada em formas de baixa labilidade, o que diminui a disponibilidade para a absorção pelas plantas.

Os sistemas de usos do solo e manejo interferem na dinâmica de P no solo, o que causa alterações nos compartimentos de P (Matos et al. 2006). Condon e Tiessen, (2005) constatam que em solos intemperizados a absorção de P pelas plantas está condicionada as formas de P_o que são fonecidas pelo processo de mineralização. O manejo do solo e o tipo de vegetação afetam as formas de P no solo, principalmente as formas orgânicas, as quais estão relacionadas com a atividade

biológica do solo (RHEINHEIMER, et al. 2002, CARDOSO, 2003, GATIBONI, et al. 2005). Dessa forma, sistemas de manejo que promovem adição de matéria orgânica ao solo também contribuem para o aumento de formas mais lábeis de P, com diminuição da adsorção e conseqüente aumento da disponibilidade de P para as plantas (ANDRADE et al. 2003).

Assim como a mineralogia, a matéria orgânica também influencia na distribuição das formas de P, onde os processos químicos envolvidos são em função do bloqueio dos sítios de carga positiva dos óxidos de ferro e alumínio, principalmente pelos compostos carboxílicos e fenólicos presentes na matéria orgânica que reduzem a adsorção de P. A matéria orgânica contém quantidades consideráveis de nutrientes, no qual está presente o P orgânico, onde por processos de mineralização pela biomassa microbiana é disponibilizado às plantas. Dessa maneira a matéria orgânica está intimamente relacionada com os processos biológicos, onde disponibiliza o carbono que é utilizado pelos microrganismos como fonte de energia para ciclagem das formas orgânicas para a disponibilidade às plantas. Nos solos intemperizados e em sistemas naturais o P orgânico constitui uma fração importante do P total do solo, principalmente do P lábil e moderadamente lábeis associadas à matéria orgânica, sendo convertido em P inorgânico através de mineralização. Vários autores verificaram que em solos intemperizados as formas orgânicas passam a apresentar capacidade de reposição de P quando da absorção pelas plantas (TIESSEN et al.1984; GUERRA et al. 1996; BOSCHETTI et al. 2003; ZAMUNER et al. 2008; PARTELLI et al. 2009; DIETER et al. 2010).

Apesar da importância do P orgânico do solo, a sua fração é desconsiderada pelos métodos químicos

que avaliam a disponibilidade de P no solo. Isso acontece porque não existem métodos diretos para quantificar o P orgânico do solo (TURNER et al. 2005).

Com isso, a extração de P do solo pelos métodos de rotinas para determinar o P disponível às plantas, não pode representar a capacidade de solo em se manter com o tamponamento de P para a absorção pelas plantas em período de médio e longo prazos. A quantificação de P pelo método do fracionamento químico proposta por Hedley et al. (1982), utiliza a extração sequencial em uma amostra única e está baseada em extratores químicos com capacidade crescente de extração de P, distinguindo as formas lábeis das recalcitrantes, o que possibilita a identificação das formas preferenciais com que o P é retido no solo. Esse método do fracionamento de P determina a caracterização das formas inorgânicas e orgânicas, consistindo na extração sequencial de formas lábeis, pouco lábeis e não lábeis.

Nas regiões do Estado de SC se estabeleceram agroecossistemas que envolvem espécies de plantas perenes em solos quimicamente pobres. Em função das condições edafoclimáticas as regiões Oeste, Meio-Oeste e Planalto se desenvolvem agroecossistemas como lavouras, pastagens, florestas nativas, florestamentos de eucaliptos e pinus, campos nativos e pomar de macieira. Para a implantação nos agroecossistemas de pomar de macieira e florestamento de eucaliptos são aplicados fertilizantes fosfatados apenas na adubação de correção, podendo no florestamento de eucaliptos ser aplicado fertilizantes até o 2º ano, sendo que após o desenvolvimento das plantas a aplicação de fertilizante fosfatado não é realizada, e a absorção de P pelas plantas passa a ocorrer em função das formas ativas de P no solo. Por outro lado, nos agroecossistemas das

áreas de florestas, pastagens, campos e florestamento de pinus, as plantas se desenvolvem sem receber aplicação de fertilizantes fosfatados, sendo que essas plantas absorvem o P das formas existentes nos solos. Assim nos agroecossistemas com plantas perenes não manejados com aplicação de fertilizantes fosfatados conseguem se manter a necessidade de P, mesmo em solos com baixa disponibilidade de P, devido a absorção das formas de labilidade moderada. Neste sentido a quantificação dos teores de P das formas lábeis e moderadamente lábeis nos diferentes solos de SC pode mostrar que tipo de solo é capaz de manter uma mínima disponibilidade de P para essas plantas perenes.

A quantificação das formas P em função dos diferentes processos biogeoquímicos em diferentes solos podem trazer informações sobre quais formas de P podem ter capacidade de tamponamento de P no solo em curto, médio e longo prazos.

Pelo exposto, a disponibilidade de P é dependente dos fatores e processos de formação dos solos, na qual a existência das várias formas de P no solo podem ser estabelecidas pelas características químicas, físicas e mineralógicas. Essa situação é associada quando as condições de absorção de P pelas plantas são deficientes, levando a manutenção dos teores disponíveis pelas formas de menor labilidade.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivos

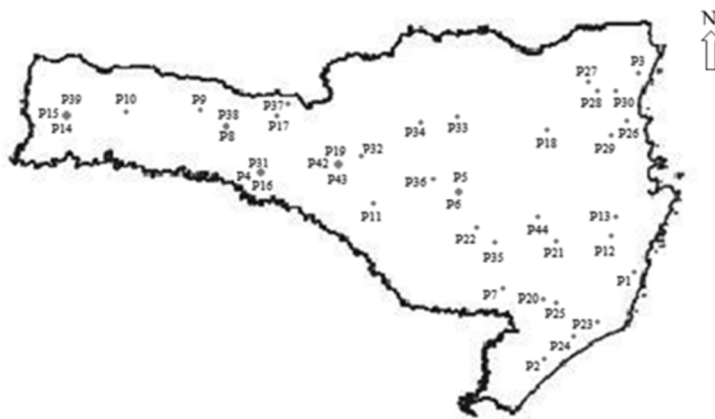
Quantificar o estoque de formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis de P inorgânico e P orgânico no horizonte superficial e no perfil de seis ordens de solos de SC.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Descrição e caracterização dos solos

O trabalho foi realizado no laboratório de química e fertilidade do solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Para o estudo foram utilizados 44 perfis de solos com ampla variação de tipos de solo e localização (ver Figura 1), representando as principais classes de solos de SC, coletados por Almeida (comunicação pessoal) e (COSTA, 2012). Esses solos já possuíam caracterização dos atributos químicos, físicos e mineralógicos, e foram objetos de estudo realizados por Costa, (2012); Almeida et al. (1997); Almeida et al. (2000); Almeida et al. (2003); Corrêa, (2003); Bringhenti, (2010); Paes Sobrinho, (2005); Embrapa & Epagri, (2008). No entanto, nesses trabalhos não foram realizados estudos relacionados com as formas de P no solo.

Figura 1. Distribuição geográfica dos 44 perfis de solo no Estado de Santa Catarina.



Fonte: produção do próprio autor. ● = local do solo coletado. P = corresponde ao perfil coletado.

2.4.2 Coleta de amostras de solo

Em cada perfil foram coletadas amostras nos horizontes A, AB, BA e B, quando presentes no solo, e suas subdivisões (A1, A2, B1, B2), exceto nos Neossolos Quartzarênicos, nos quais foram coletadas amostras nos horizontes A e C e suas subdivisões. Na Tabela 1 são apresentadas as classes de solo, a localização, os horizontes amostrados, as coordenadas, altitude e uso do solo dos 44 perfis. Os perfis foram abertos e descrito em barranco de corte de estrada. Em cada perfil o uso do solo era definido em relação à área adjacente do perfil coletado, ou seja, considerando até a proximidade do perfil coletado.

As amostras foram coletadas com estrutura alterada e armazenadas em sacos plásticos e encaminhadas para o laboratório de química e fertilidade

do solo do CAV. As amostras foram secas em estufa com circulação forçada com 65°C, passado em peneira com malha 2 mm e armazenado em potes plásticos.

Tabela 1. Ordem de solo, localização, horizontes amostrados, altitude e uso do solo dos 44 perfis de solos do Estado de SC.

Perfil	Classe de Solo	Município de SC	Horizonte	Coordenada	Altitude (m)	Uso do solo
P1	Neossolo Quartzârenico Órtico típico	Imbituba	A, C1, C2 e C3	28°13'12,02"S 48°41'45,73"W	27	Pastagem nativa
P2	Neossolo Quartzârenico Órtico típico	Araranguá	A, C1, C2 e C3	29°0'19,58"S 49°31'3,50"W	30	Pastagem nativa
P3	Neossolo Quartzârenico Órtico típico	Araquari	A1, A2, AC e C1	26°30'57,59"S 48°43'13,46"W	19	Florestamento
P4	Neossolo Litólico Chernossólico típico	Ipira	A	27°23'9,56"S 51°47'56,90"W	527	Pastagem nativa
P5	Neossolo Litólico Distrófico típico	Ponte alta	A1, A2 e C	27°26'39,64"S 50°25'45,72"W	875	Mata nativa
P6	Neossolo Litólico Húmico típico	Ponte alta	A1 e A2	27°26'22,06"S 50°25'27,24"W	900	Pastagem nativa
P7	Neossolo Litólico Húmico típico	São Joaquim	A	28°17'2,38"S 49°55'39,82"W	1434	Pastagem nativa
P8	Latossolo Bruno Distrófico nitossólico húmico	Vargeão	A1, A2, AB, BA, Bw1 e Bw2	26°51'15"S 52°5'57,61"W	1063	Pastagem nativa
P9	Latossolo Vermelho Distrófico Húmico	Faxinal dos Guedes	A1, A2, AB, BA, Bw1 e Bw2	26°48'38,88"S 52°18'21,77"W	840	Lavoura
P10	Latossolo Vermelho Eutroférrico típico	Pinhalzinho	A1, A2, BA, Bw1 e Bw2	26°53'8,41"S 52°56'12,37"W	533	Lavoura
P11	Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico	Campos Novos	A1, A2, AB, BA, Bw1 e Bw2	27°22'34,93"S 51°5'26,92"W	939	Pastagem nativa
P12	Latossolo Amarelo Distrófico argissólico	São Bonifácio	A, AB, BA, Bw1 e Bw2	27°56'21,94"S 48°56'13,40"W	504	Mata nativa

Tabela 1: Continua.

Perfil	Classe de Solo	Município de SC	Horizonte	Coordenada	Altitude (m)	Uso do solo
P13	Latosolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico	Rancho Queimado	A, AB, Bw1 e Bw2	27°43'17,59"S 48°56'7,96"W	470	Mata nativa
P14	Chernossolo Argilúvico Férrico típico	Descanso	A1, A2, AB, BA e Bt	26°51'47,22"S 53°28'48,74"W	377	Mata nativa
P15	Chernossolo Háplico Férrico típico	Descanso	A1, AB e B	26°51'46,37"S 53°29'20,37"W	451	Lavoura
P16	Chernossolo Argilúvico Férrico típico	Ipira	A, BA e Bt1 e Bt2	27°23'43,85"S 51°48'20,26"W	620	Mata nativa
P17	Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico	Água Doce	A1, A2, AB e Bi	26°46'23,00"S 51°40'41,70"W	1202	Pastagem nativa
P18	Cambissolo Háplico Alítico típico	Rio do Sul	A1, A2, BA, Bi1 e Bi2	27°10'41,26"S 49°38'8,70"W	349	Lavoura
P19	Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico	Luzerna	A e Bi	27°5'28,49"S 51°29'20,84"W	699	Mata nativa
P20	Cambissolo Húmico Distrófico organossólico	Bom Jardim da Serra	O1, O2, A, BA e Bi1 e Bi2	28°22'19,17"S 49°33'53,91"W	1372	Pastagem nativa
P21	Cambissolo Húmico Aluminico típico	Bom Retiro	A, BA, Bi1 e Bi2	27°48'55,33"S 49°32'36,71"W	890	Pastagem nativa
P22	Cambissolo Húmico Aluminico típico	Lages	A1, A2, BA, Bi	27°44'21,78"S 50°20'8,80"W	930	Pastagem nativa
P23	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico	Sangão	A1, A2, AB, BA, Bt1 e Bt2	28°37'1,56"S 49°7'52,95"W	101	Lavoura
P24	Argissolo Vermelho Distrófico abruptico	Içara	A1, A2, A3, BA1, BA2, Bt1 e Bt2	28°43'37,85"S 49°17'43,54"W	33	Florestamento de eucalipto

Tabela 1: Continuação.

Perfil	Classe de Solo	Município de SC	Horizonte	Coordenada	Altitude (m)	Uso do solo
P25	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico	Lauro Muller	A, AB, BA, Bt1 e Bt2	28°23'25,29"S 49°22'5,27"W	245	Florestamento de eucalipto
P26	Argissolo Vermelho-Amarelo Aluminico típico	Gaspar	A, BA, Bt1, Bt2 e Bt3	26°59'38,95"S 48°54'10,34" W	60	Pastagem nativa
P27	Argissolo Amarelo Distrófico típico	Pomerode	A, BA e Bt	26°44'18,16"S 49°13'40,19" W	342	Mata nativa
P28	Argissolo Vermelho-Amarelo Aluminico típico	Blumenau	A, AB, BA, Bt1, Bt2 e Bt3	26°47'52,77"S 49°5'20,30"W	46	Mata nativa
P29	Argissolo Amarelo Alítico típico	Botuverá	A, BA e Bt1 e Bt2	27°11'24,07"S 49°3'50,43"W	89	Mata nativa
P30	Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico	Massaranduba	A, BA e Bt1, Bt2 e Bt3	26°40'56,74"S 49°0'31,61"W	148	Mata nativa
P31	Argissolo Vermelho Eutroférico chernossólico	Ipira	A, Bt1 e Bt2	27°23'45,11"S 51°48'8,60"W	584	Mata nativa
P32	Nitossolo Bruno Aluminico rubrico	Tangará	Ap, A2, AB, BA, Bt1 e Bt2	27°5'25,50"S 51°18'12,50" W	750	Lavoura
P33	Nitossolo Bruno Distrófico típico	Santa Cecília	Ap, AB, BA, Bt1 e Bt2	26°54'55,30"S 50°27'13,60" W	1075	Florestamento com Pinus
P34	Nitossolo Bruno Distrófico rubrico	Lebon Regis	A1, A2, AB, BA, Bt1 e Bt2	26°56'47,60"S 50°42'20,30" W	1015	Mata nativa
P35	Nitossolo Bruno Distrófico típico	Painel	A, AB, BA, Bt1 e Bt2	50°7'45,00"S 50°7'45,00"W	1130	Pastagem nativa

Tabela 1: Conclusão.

Perfil	Classe de Solo	Município de SC	Horizonte	Coordenada	Altitude (m)	Uso do solo
P36	Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbrico	Curitibanos	A1, A2, A3, AB, BA, Bt1 e Bt2	27°22'12,00"S 50°34'46,00"W	993	Lavoura
P37	Nitossolo Bruno Distroférico típico	Água Doce	A1, A2, BA, Bt1 e Bt2	26°41'28,00"S 51°34'0,79"W	898	Pastagem nativa
P38	Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbrico	Ponte Serrada	A1, A2, AB, BA, Bt1 e Bt2	26°51'22,90"S 52°2'32,71"W	1065	Lavoura
P39	Nitossolo Vermelho Eutróférico chernossólico	Descanso	A1, A2, BA e Bt1 e Bt2	26°51'36,12"S 53°29'46,28"W	537	Pastagem nativa
P40	Nitossolo Vermelho Eutróférico típico	Ipira	A, BA e Bt1 e Bt2	27°22'42,14"S 51°49'46,90"W	707	Mata nativa
P41	Nitossolo Bruno Distroférico húmico	Luzerna	A1, A2, A3, AB, BA e Bt1 e Bt2	27°2'39,31"S 51°32'13,79"W	810	Pastagem nativa
P42	Nitossolo Bruno Distroférico típico	Luzerna	A, BA e Bt1 e Bt2	27°4'44,96"S 51°30'7,84"W	730	Mata nativa
P43	Nitossolo Vermelho Eutrófico típico	Luzerna	A, AB e Bt	27°6'42,22"S 51°28'39,24"W	578	Mata nativa
P44	Nitossolo Vermelho Alumínico húmico	Bocaina do Sul	A, AB, BA, Bt1 e Bt2	27°43'53,28"S 49°47'17,75"W	872	Pastagem nativa

Fonte: produção do próprio autor. Horizonte = Horizontes amostrados. Dados extraídos de Almeida (comunicação pessoal) e (COSTA, 2012).

2.4.3 Análises

As amostras de solos foram submetidas ao fracionamento químico de P mediante extrações sucessivas, seguindo a metodologia desenvolvida por Hedley et al. (1982) com as modificações propostas propostas por Condrón & Goh, (1989) e adaptações

descritas por (Gatiboni et al. 2013) (ver Figura 2). Amostras de 0,5 g de solo, com três repetições foram extraídas sequencialmente, sendo a primeira extração com resina de troca iônica em lâminas (5x1cm) saturada com NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ a pH 8,5 (adaptado de Gatiboni, 2003), acrescida de 10 mL H_2O destilada e deionizada, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto). Após a resina de troca iônica foi transferida para um tubo falcon contendo 10 mL HCl $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ com auxílio de uma pinça e lavada com H_2O destilada e deionizada para remover as partículas aderidas de solo. Após colocado a resina no tubo contendo HCl $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ foi deixado em repouso por 90 minutos com a tampa aberta e após agitado por 30 minutos a 120 rotações por minuto em agitador orbital, onde foi obtido o extrato para determinação do P inorgânico lábil (Pi RTA) conforme anexos A, B e C. O solo no tubo foi centrifugado a 1400 g por 10 minutos, e com o solo decantado, foi descartado o sobrenadante cuidadosamente para evitar perda de solo, conforme anexo A.

O P inorgânico e orgânico lábil (Pi e Po NaHCO_3), adsorvidos nas superfícies das partículas coloidais do solo, foram extraídos do solo remanescente da extração anterior, adicionando 10 mL NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ a pH 8,5, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante, adicionado 5 mL de NaCl $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior conforme anexo A, para a análise das frações de Pi e Po NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$, conforme anexos D e E. As frações de Pi-RTA, Pi- NaHCO_3 e Po- NaHCO_3 foram definidas como formas lábeis de P (ver Figura 2).

O P inorgânico moderadamente lábil (Pi NaOH) associado aos óxidos de Fe e Al e o P orgânico (Po NaOH) associado aos compostos húmicos, foram extraídos com NaOH 0,1 mol l⁻¹. Na amostra de solo remanescente da extração anterior foram adicionados 10 mL de NaOH 0,1 mol l⁻¹, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante para outro tubo, adicionado 5 mL de NaCl 0,5 mol l⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior conforme anexo A, para a análise das frações de Pi e Po NaOH 0,1 mol l⁻¹, conforme anexos D e E.

O P inorgânico contido nos fosfatos de cálcio e fortemente adsorvido as partículas coloidais do solo, considerado não disponível a curto prazo, foi extraído adicionando ao solo remanescente da extração anterior 10 mL de HCl 1,0 mol l⁻¹, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante para outro recipiente, adicionado 5 mL de NaCl 0,5 mol l⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior, conforme anexo A, e para a análise da fração Pi HCl 1,0 mol l⁻¹, conforme anexo C.

O P inorgânico e orgânico fisicamente protegidos no interior de microagregados é representado pelas frações Pi e Po NaOH 0,5 mol l⁻¹ e foram extraídos da amostra de solo remanescente adicionando 10 mL NaOH 0,5 mol l⁻¹, realizada a ultrasonificação por 2 minutos a 120 watts, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e

transferido o sobrenadante ao extrato anterior. Após foi adicionado 5 mL de NaCl $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior, conforme anexo A, e para a análise das frações de Pi e Po NaOH $0,5 \text{ mol l}^{-1}$, conforme anexos D e E.

As frações recalcitrantes de P inorgânico e orgânico no solo (P residual), o solo foi seco em estufa moído e submetido à digestão com $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ concentrado + MgCl_2 saturado conforme anexo F (BROOKES & POWSON, 1981).

As formas moderadamente lábeis foram compostas pelas frações de Pi e Po em NaOH 0,1M e NaOH 0,5M e para as formas não lábeis foram formados pelas frações de Pi-HCl e P residual (ver Figura 2).

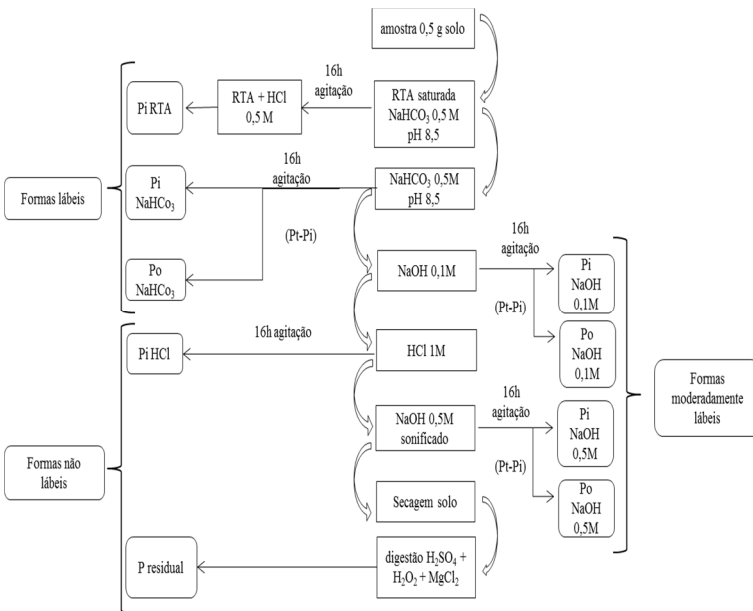
A determinação do P total dos extratos alcalinos por digestão dos extratos em NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$, NaOH $0,1 \text{ mol l}^{-1}$ e NaOH $0,5 \text{ mol l}^{-1}$, foi utilizado uma alíquota dos extratos e adicionado 10 mL persulfato de amônio 7,5% + 1 mL ácido sulfúrico 1:1 autoclavado em 121°C por 3 horas e completado o volume para 20 mL com água destilada e deionizada, conforme anexo E (USEPA, 1971).

O Po foi obtido pela diferença entre P total e P inorgânico (ver Figura 2).

O P inorgânico dos extratos alcalinos em NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$, NaOH $0,1 \text{ mol l}^{-1}$ e NaOH $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ foi determinado pelo método de Dick & Tabatabai, (1977), conforme anexo D.

O P inorgânico dos extratos ácidos em RTA, HCl $1,0 \text{ mol l}^{-1}$ e P residual foi determinado por espectrofotometria de absorção molecular, segundo a metodologia de Murphy & Riley, (1962), conforme anexo C.

Figura 2. Organograma das frações de P pelo fracionamento químico. Pi = P inorgânico. Po = P orgânico. RTA = resina trocadora de ânions. NaHCO_3 = bicarbonato de sódio. HCl = ácido clorídrico. NaOH = hidróxido de sódio.



Fonte: produção do próprio autor.

Além das análises realizadas em laboratório, foram utilizados atributos relacionados à espessura e a densidade do solo de cada horizonte disponibilizados por esses estudos, estabelecendo os estoques das frações de P no solo.

A espessura foi verificada a partir da medida da camada de cada horizonte que compõe o perfil, conforme apêndices A, B, C, D, E e F. Com a medida de

cada camada e a densidade do solo dessa camada foi obtido a massa de solo. A composição do estoque de P foi estabelecida pela determinação da massa de solo e a concentração de P em cada fração nos horizontes que compõem o perfil do solo.

Os atributos utilizados foram extraídos dos trabalhos de Costa, (2012); Almeida et al. (1997); Almeida et al. (2000); Almeida et al. (2003); Corrêa, (2003);+ Bringham, (2010); Paes Sobrinho, (2005); Embrapa & Epagri, (2008).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados baseiam-se na informação sobre a distribuição das formas de P determinadas pelo fracionamento químico em perfis de 44 solos, representando seis ordens de solos do Estado de SC. Os resultados de estoque de P são expostos em função da distribuição nas formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis das ordens de solo no horizonte A e nos perfis (horizonte A e Horizonte B) e as formas inorgânicas e orgânicas de P. As formas de P foram caracterizadas em solos sob ambientes naturais, como de mata nativa e pastagem nativa, e solos sob ambientes antropizados, como de florestamento e lavoura.

2.5.1 Formas de P lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis nos solos

As formas lábeis foram definidas pelas frações de $Pi\text{-RTA}$, $Pi\text{-NaHCO}_3$ e $Po\text{-NaHCO}_3$, que representam as formas prontamente disponíveis às plantas. As formas moderadamente lábeis foram compostas pelas frações de Pi e Po em NaOH 0,1M e NaOH 0,5M, onde

representam as formas de labilidade moderada que são disponíveis em médio prazo, e para as formas não lábeis foram formados pelas frações de Pi-HCl e P residual, que são formas de difícil reversibilidade.

Na Figura 3 é apresentado o estoque de P que compõem as formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis no horizonte A dos solos estudados em solos sob ambientes naturais. Observa-se que a fração lábil no horizonte A representou entre 2 e 7% do P total do solo entre as ordens de solos avaliados, sendo que os Latossolos e Nitossolos possuíam um estoque de P de 23 e 43 kg ha⁻¹ de P, respectivamente, o que correspondeu a 2 % do P total do solo em ambos os solos (ver Figura 3). Em solos sob ambientes antropizados o estoque de P corresponderam para os Latossolos e Nitossolos em 35 e 50 kg ha⁻¹ de P, indicando de 2 e 3% do P total do solo (ver Figura 4). Isso indica que o uso do solo não altera a participação da fração lábil, devido ao fato que esses solos são capazes de uma alta adsorção de P no qual a fração disponível representa um pequeno percentual do P total do solo.

Por outro lado, sob ambientes naturais constata-se que nos Neossolos e Cambissolos foram verificados uma participação da fração lábil de 4% do P total do solo, o que representou em um estoque de 84 e 68 kg ha⁻¹ de P para o Neossolos e Cambissolos, respectivamente. Esse fato é justificado pelos baixos teores de óxidos de ferro encontrados nos Neossolos, conforme apêndice G, indicando menor adsorção de P. Em solos sob ambientes antropizados, no horizonte A o estoque de P que compõem as formas lábeis, para os Neossolos e Cambissolos, corresponderam em 29 e 48 kg ha⁻¹ de P, respectivamente (ver Figura 4). Os Chernossolos e Argissolos indicaram uma participação

da fração lábil de 4 e 7% do P total do solo, respectivamente, correspondendo em um estoque de P de 60 e 49 kg ha⁻¹ de P, respectivamente. Nos solos sob ambientes antropizados os Chernossolos e Argissolos corresponderam em estoque de P de 84 e 44 kg ha⁻¹ de P, respectivamente.

Quando se determinou o estoque de P nos perfis dos solos a fração lábil manteve um comportamento semelhante ao do horizonte A em solos sob ambientes naturais, os quais indicaram percentuais entre 1 e 8% do P total do solo (ver Figura 5). Novamente os Neossolos tiveram maior participação das frações lábeis nos perfis dos solos, 8% do P total do solo (maiores teores de P estocados com 170 kg ha⁻¹ de P). Já os Latossolos corresponderam em 1% da participação no P total do solo, o que representou um estoque de P de 48 kg ha⁻¹ de P. Nos latossolos em função de mostrarem um caráter ácido associado à textura muito argilosa e elevados teores de óxidos de ferro (ver apêndice H), os teores de P disponível foram baixos, corroborando com Souza et al. (2007), sendo constatados por Almeida et al. (2003) que os Latossolos desenvolvidos de basalto do Sul do Brasil apresentam elevada capacidade de sorção de P e baixo conteúdo de P disponível. Esse fato é condizente com a literatura, a qual têm mostrado que os óxidos de ferro e alumínio participam ativamente da retenção de P (Novais et al. 2007), devido a maior superfície de adsorção e menor CTC desses constituintes. Em solos sob ambientes antropizados os teores de P nos perfis dos solos a fração lábil variaram entre 2 e 12% do P total do solo (ver Figura 6). Essa fração lábil apresentou os maiores estoques nos Chernossolos e Nitossolos com 137 e 126 kg ha⁻¹ de P, respectivamente.

Observando o estoque de P da fração lábil no horizonte A em solos sob ambientes naturais, os teores de P corresponderam a 50, 64, 65, 53, 47 e 63% do P lábil contido nos perfis dos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos, respectivamente, conforme Tabela 2. Isso indica que com exceção dos Latossolos, todas as outras ordens de solos avaliados mostram maior proporção da fração lábil na superfície do solo. Nos solos sob ambientes antropizados os teores de P corresponderam a 43, 47, 66, 39, 39 e 62% do P lábil contido nos perfis dos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos, respectivamente conforme Tabela 3. Os Neossolos, Cambissolos, Nitossolos e Latossolos apresentaram redução das formas lábeis com o uso do solo.

O P determinado pela fração moderadamente lábil, que representa o P adsorvido à superfície de oxihidróxidos de ferro, alumínio e a compostos orgânicos, ocorrem em quantidades relativamente altas nos solos avaliados. Na fração moderadamente lábil a participação das formas de P no horizonte A em solos sob ambientes naturais corresponderam entre 29 e 44% do P total do solo entre os solos avaliados (ver Figura 3). Os teores de P estocados nos Latossolos com 280 kg ha⁻¹ de P, corresponderam a 29% da participação de P total do solo. Entretanto, nos Cambissolos apresentaram percentuais de 34% da participação do P total do solo, embora, os teores de P estocados foram os maiores entre os solos com 631 kg ha⁻¹ de P. Nos solos sob ambientes antropizados os teores de P variaram entre 28 e 49% da participação de P total do solo, onde os teores de P variaram de 88 e 1017 kg ha⁻¹ de P, para os Neossolos e Chernossolos, respectivamente (ver Figura 4).

Por outro lado, quando se determinou o estoque de P da fração moderadamente lábil nos perfis dos solos em solos sob ambientes naturais, os percentuais foram próximos, os quais variaram entre 29 e 39% do P total do solo (ver Figura 5). No entanto, a participação correspondente da fração de P em cada ordem de solos é atribuída ao estoque total de P, sendo que embora os Latossolos apresentem uma participação de 29% do P total, o estoque de P é equivalente a 929 kg ha⁻¹ de P. Isso é verificado nos Neossolos que indicaram um estoque de P de 838 kg ha⁻¹ de P, porém com participação de 39% do P total do solo (ver Figura 5). Quando se determinou o estoque nos perfis dos solos, os Nitossolos apresentaram elevados teores de P estocados pela fração moderadamente lábil, devido aos maiores teores de óxidos de ferro, conforme apêndice L, oriundos nos Nitossolos. Nos solos sob ambientes antropizados observa-se que a fração moderadamente lábil corresponderam entre 27 e 60% do P total do solo (ver Figura 6).

Observando o estoque de P da fração moderadamente lábil no horizonte A em solos sob ambientes naturais, os teores de P corresponderam a 74, 50, 43, 39, 30 e 52% do P moderadamente lábil contido nos perfis dos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos, respectivamente, conforme Tabela 2. Isso indica principalmente nos Neossolos e Chernossolos que as formas de labilidade moderada se encontram na maior proporção na superfície do solo. Contrariamente, os Latossolos e Nitossolos mostram que somente 30 e 39% das formas de labilidade moderada, respectivamente, se encontram na superfície do solo. Em solos sob ambientes antropizados as formas moderadamente lábeis apresentaram participações de 26, 27, 43, 33, 35

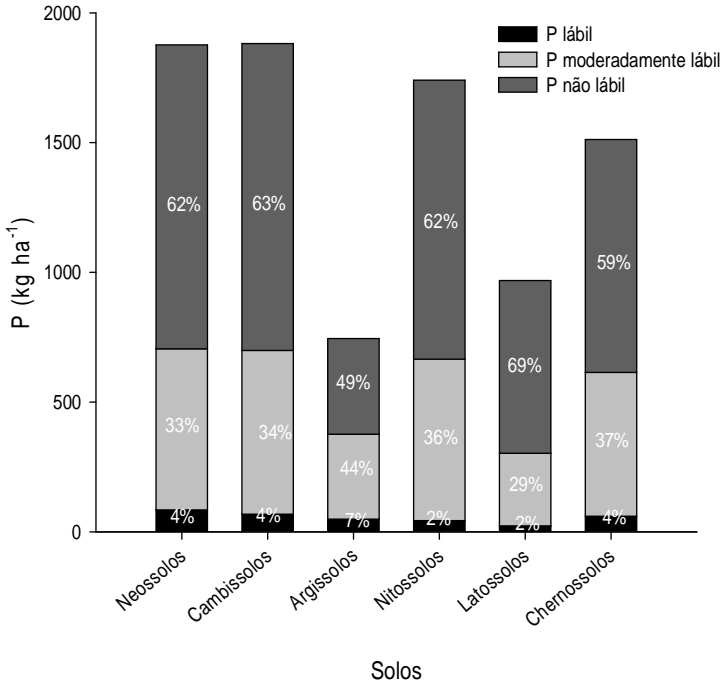
e 68% do P moderadamente lábil contido nos perfis dos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos, respectivamente, conforme Tabela 3. Isso representa que o uso do solo altera as formas moderadamente lábeis, principalmente nos Neossolos e Cambissolos.

Para a fração não lábil a retenção de P em formas não reversíveis ou pouco reversíveis, foi observado que em solos mais intemperizados e mais oxidicos, há forte competição entre solo e planta pelo P (FERNANDEZ et al. 2008). Essa é uma fração com grande participação no P total do solo, confirmado nos resultados deste trabalho, que mostra no horizonte A em solos sob ambientes naturais os percentuais variaram entre 49 e 69% do P total do solo (ver Figura 3). A menor concentração de P não lábil estocado foi constatado nos Argissolos, com 368 kg ha^{-1} de P, correspondendo em 49% do P total do solo (ver Figura 3). Para os Neossolos, Cambissolos, Nitossolos, e Latossolos, onde apresentaram uma participação da fração não lábil acima de 60% do P total do solo, esses apresentaram quantidade de P estocado entre 666 e 1.182 kg ha^{-1} de P. Nos solos sob ambientes antropizados a fração não lábil no horizonte superficial corresponderam entre 36 e 69%, indicando uma maior participação aos Nitossolos, Latossolos e Chernossolos (ver Figura 4). Quando se avaliou os perfis dos solos a fração não lábil representou entre 59 e 69% do P total (ver Figura 5), indicando que com a profundidade do solo os teores de P encontram-se mais sujeitos a processos de adsorção em formas oclusas. Para a fração não lábil os teores de P nos perfis dos solos em solos sob ambientes naturais foram de 2.975 e 2.516 kg ha^{-1} de P para os Nitossolos e Cambissolos, respectivamente, que corresponderam em 64 e 65% do P total do solo (ver Figura 5). Para os

Latossolos e Chernossolos os teores estocados na fração não lábil representaram 2.218 e 2.276 kg ha⁻¹ de P, respectivamente, indicando 69 e 59% do P total do solo, respectivamente. Esse resultado também é corroborado por Motta et al. (2002), mostraram que as formas pouco lábeis predominam nos Latossolos.

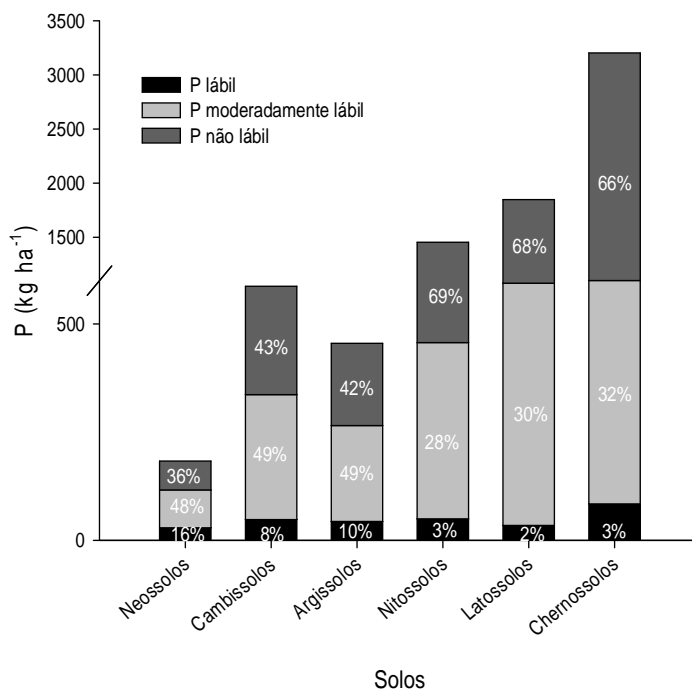
Avaliando o estoque de P da fração não lábil no horizonte A em solos sob ambientes naturais, os teores de P corresponderam em 102, 47, 27, 36, 30 e 39% do P não lábil contido nos perfis dos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos, respectivamente, conforme Tabela 2. Isso indica principalmente nos Neossolos que as formas oclusas se encontram na maior proporção na superfície do solo. Contrariamente os Argissolos e Latossolos mostram que somente 27 e 30% das formas oclusas, respectivamente, se encontram na superfície do solo. Em solos sob ambientes antropizados essa participação no horizonte A é 43, 26, 28, 33, 31 e 54% do P não lábil contido nos perfis dos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos, respectivamente, conforme Tabela 3. Isso indica que principalmente os Neossolos e Cambissolos as formas não lábeis são alteradas pelo uso do solo, onde diminuem com o uso do solo.

Figura 3. Estoque (kg ha^{-1}) e proporção (%) das formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil no horizonte A de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais.



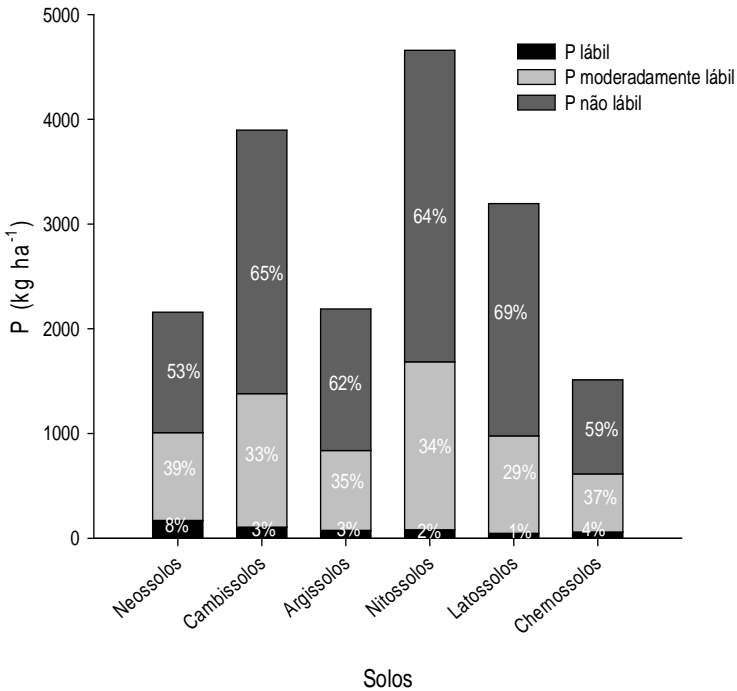
Fonte: produção do próprio autor.

Figura 4. Estoque (kg ha^{-1}) e proporção (%) das formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil no horizonte A de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados.



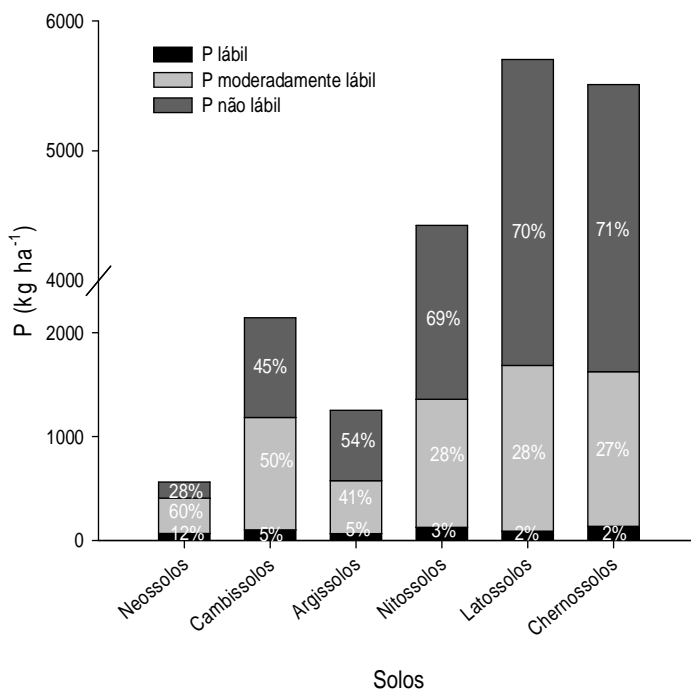
Fonte: produção do próprio autor.

Figura 5. Estoque (kg ha^{-1}) e proporção (%) das formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil no perfil do solo de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais.



Fonte: produção do próprio autor.

Figura 6. Estoque (kg ha^{-1}) e proporção (%) das formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil no perfil do solo de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados.



Fonte: produção do próprio autor.

Tabela 2. Estoque de P das formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis no horizonte A, nos horizontes subsuperficiais e a proporção (%) entre o horizonte A e o total do perfil dos solos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais.

Formas lábeis			
Solos	Horizonte A	Perfil do solo	Hz A/Hz A + Hz B
	----- Kg ha ⁻¹ -----	-----	%
Neossolos	84	170	50
Cambissolos	68	106	64
Argissolos	49	75	65
Nitossolos	43	81	53
Latossolos	23	48	47
Chernossolos	60	96	63
Formas moderadamente lábeis			
Solos	Horizonte A	Perfil do solo	Hz A/Hz A + Hz B
	----- Kg ha ⁻¹ -----	-----	%
Neossolos	621	838	74
Cambissolos	631	1275	50
Argissolos	328	762	43
Nitossolos	622	1603	39
Latossolos	280	929	30
Chernossolos	554	1058	52
Formas não lábeis			
Solos	Horizonte A	Perfil do solo	Hz A/Hz A + Hz B
	----- Kg ha ⁻¹ -----	-----	%
Neossolos	1171	1150	102
Cambissolos	1182	2516	47
Argissolos	368	1352	27
Nitossolos	1075	2975	36
Latossolos	665	2218	30
Chernossolos	897	2276	39

Fonte: produção do próprio autor. Hz A = Horizonte A. Hz A + Hz B = Perfil do solo. * percentual de P no horizonte A = (Hz A/Hz A + Hz B)*100.

Tabela 3. Estoque de P das formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis no horizonte A, nos horizontes subsuperficiais e a proporção (%) entre o horizonte A e o total do perfil dos solos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados.

Solos	Formas lábeis		
	Horizonte A ----- Kg ha ⁻¹ -----	Perfil do solo ----- Kg ha ⁻¹ -----	Hz A/Hz A + Hz B %
Neossolos	29	68	43
Cambissolos	48	102	47
Argissolos	44	66	66
Nitossolos	50	126	39
Latossolos	34	89	39
Chernossolos	84	136	62
Solos	Formas moderadamente lábeis		
	Horizonte A ----- Kg ha ⁻¹ -----	Perfil do solo ----- Kg ha ⁻¹ -----	Hz A/Hz A + Hz B %
Neossolos	87	340	26
Cambissolos	289	1081	27
Argissolos	221	509	43
Nitossolos	407	1233	33
Latossolos	560	1596	35
Chernossolos	1017	1488	68
Solos	Formas não lábeis		
	Horizonte A ----- Kg ha ⁻¹ -----	Perfil do solo ----- Kg ha ⁻¹ -----	Hz A/Hz A + Hz B %
Neossolos	67	155	43
Cambissolos	250	960	26
Argissolos	190	677	28
Nitossolos	997	3067	33
Latossolos	1254	4018	31
Chernossolos	2101	3885	54

Fonte: produção do próprio autor. Hz A = Horizonte A. Hz A + Hz B = Perfil do solo. * percentual de P no horizonte A = (Hz A/Hz A + Hz B)*100.

2.5.2 Formas inorgânicas e orgânicas de P nos solos

Os estoques de P das formas inorgânicas e orgânicas no horizonte A dos solos avaliados em solos sob ambientes naturais e antropizados são apresentados nas Figuras 7 e 8, onde verifica-se que os percentuais de P inorgânico representam a maior proporção das formas de P no solo, variando entre 72 e 83% do P total do solo nas ordens de solos em solos sob ambientes naturais (ver Figura 7) e variando entre 60 e 83% do P total do solo nas ordens de solos em solos sob ambientes antropizados (ver Figura 8). Os menores percentuais de P inorgânico correspondem aos Argissolos com 72% do P total (ver Figura 7), o que representa 535 kg ha^{-1} de P, sendo que os Neossolos e Cambissolos apresentaram altos percentuais com 76 e 80% do P total, respectivamente (ver Figura 7), estabelecendo um estoque de 1.436 e 1.498 kg ha^{-1} de P, para os Neossolos e Cambissolos, respectivamente.

Quando se avaliou os teores de P inorgânico no perfil todo de cada ordem de solo em solos sob ambientes naturais, observou-se que a fração inorgânica também foi maior, a qual variou entre 74 e 88% do P total do solo (ver Figura 9). Os menores teores de P inorgânico nos perfis foram nos Neossolos com 74% do P total do solo, correspondendo em 1.602 kg ha^{-1} de P. O maior estoque de P foram observados para os Nitossolos e Cambissolos, onde a participação do P inorgânico foi de 88 e 84% do P total do solo, respectivamente, correspondendo em 4.087 e 3.291 kg ha^{-1} de P, para os Nitossolos e Cambissolos, respectivamente (ver Figura 9). Em solos sob ambientes antropizados a fração inorgânica a participação foi entre 45 e 90% do P total do solo, correspondendo em 256 e

5.104 kg ha⁻¹ de P, para os Neossolos e Latossolos, respectivamente (ver Figura 10).

Quanto ao estoque das formas de P inorgânicas no horizonte A em solos sob ambientes naturais, os teores de P corresponderam em 90, 46, 30, 35, 29 e 48% do P inorgânico contido nos perfis dos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos, respectivamente, conforme Tabela 4. Isso indica, principalmente nos Neossolos, que as formas de P inorgânicas se encontram na maior proporção na superfície do solo. Contrariamente, os Latossolos e Argissolos mostraram que somente 29 e 30% das formas inorgânicas, respectivamente, se encontram na superfície do solo. Nos solos sob ambientes antropizados os teores de P corresponderam em 43, 24, 35, 33, 30 e 55% do P inorgânico contido nos perfis dos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos, respectivamente, conforme Tabela 5. Isso indica que principalmente nos Neossolos e Cambissolos as formas de P inorgânicas foram alteradas com o uso do solo, no qual as formas inorgânicas diminuíram com o uso do solo.

Na fração orgânica os estoques de P no horizonte A em solos sob ambientes naturais correspondeu entre 17 e 28% do P total do solo entre as ordens de solos (ver Figura 7). Isso indica que essas frações podem contribuir como uma importante fonte de reserva de P, sendo que está adsorvida aos colóides do solo com baixa energia, a qual é facilmente mineralizável, tornando-se uma fonte de P, principalmente em solos com baixa fertilidade natural (GUERRA et al. 1996). No entanto, os Chernossolos mostraram participação de P orgânico de 24% no P total do solo (ver Figura 7), onde os teores de P estocados no horizonte A foram altos entre os solos avaliados, correspondendo em 442 kg ha⁻¹ de P. Por

outro lado, no horizonte A, a participação da fração orgânica no P total do solo nos Latossolos corresponde a 17% do P total (ver Figura 7), no qual os teores de P estocados foram de 163 kg ha^{-1} de P. No entanto, nos solos sob ambientes antropizados a participação da fração orgânica entre as ordens dos solos foram entre 12 e 40% do P total do solo (ver Figura 8). Contrariamente aos solos sob ambientes naturais, nos solos sob ambientes antropizados, os Neossolos apresentaram os menores teores de P correspondendo em 73 kg ha^{-1} de P e os maiores teores de P foi nos Chernossolos com 642 kg ha^{-1} de P (ver Figura 8).

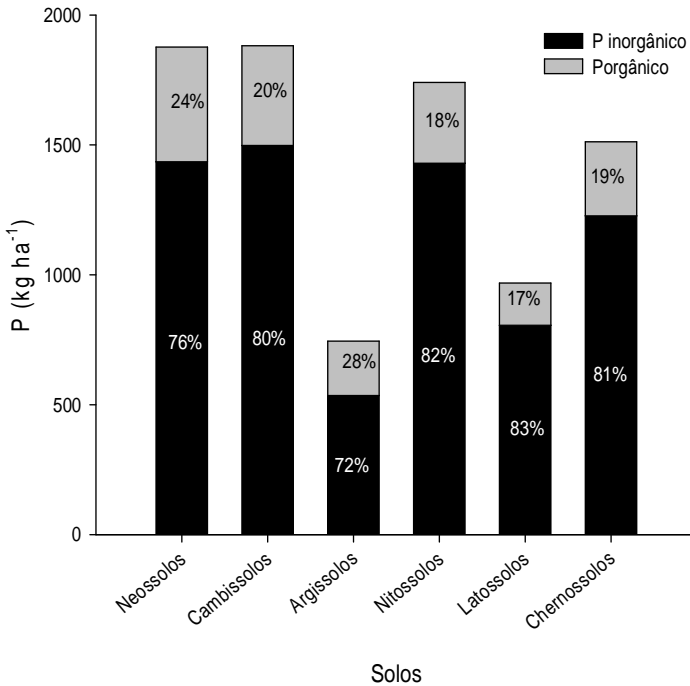
A participação da fração orgânica nos perfis de cada ordem de solo sob ambientes naturais indicou que os teores de P orgânico representam no geral percentuais entre 12 e 26% do P total do solo (ver Figura 9), estabelecendo teores de P entre 378 e 605 kg ha^{-1} de P. Altos teores de P orgânico foram indicados pelos Cambissolos e Neossolos com 605 e 557 kg ha^{-1} de P, respectivamente, representando 16 e 26% do P total do solo (ver Figura 9). Por outro lado, os Latossolos e Argissolos mostraram os menores teores de P orgânico, com 378 e 404 kg ha^{-1} de P, respectivamente, indicando em uma participação de 12 e 18% do P total do solo (ver Figura 9). Nos solos sob ambientes antropizados a fração orgânica nos perfis dos solos foram entre 10 e 55% do P do P total do solo (ver Figura 10), estabelecendo teores de P entre 303 e 837 kg ha^{-1} de P. Nessa fração os Nitossolos, Latossolos e principalmente os Chernossolos apresentaram maiores teores quando do uso do solo. (ver Figura 10) com 593 , 599 e 837 kg ha^{-1} de P, respectivamente.

Verificando o estoque das formas de P orgânicas no horizonte A em solos sob ambientes naturais, os teores de P corresponderam em 79, 63, 52, 54, 43 e

59% do P orgânico contido nos perfis dos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos, respectivamente, conforme a Tabela 4. Isso indica principalmente nos Neossolos, Cambissolos e Chernossolos que as formas de P orgânicas se encontram na maior proporção na superfície do solo. Por outro lado, em solos sob ambientes antropizados observa-se que os Neossolos e Cambissolos apresentaram uma redução da participação das formas orgânicas na superfície do solo (ver Tabela 5).

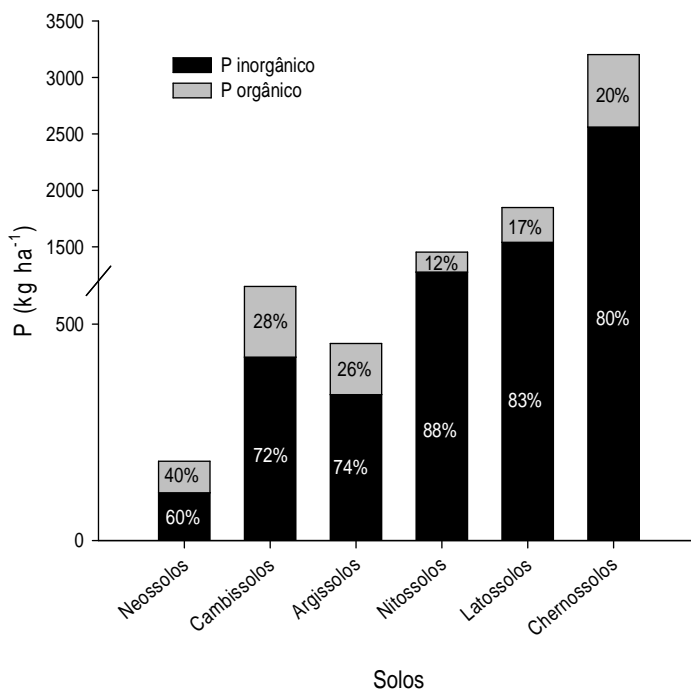
De maneira geral, as frações orgânicas de P se encontram na maior proporção na superfície do solo em comparação as frações inorgânicas para os Latossolos, Chernossolos, Cambissolos, Argissolos e Nitossolos.

Figura 7. Estoque das formas de P inorgânicas (Pi-RTA, Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1, Pi-HCl, Pi-NaOH 0,5, P-residual) e formas orgânicas (Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1, Po-NaOH 0,5) no horizonte A de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais.



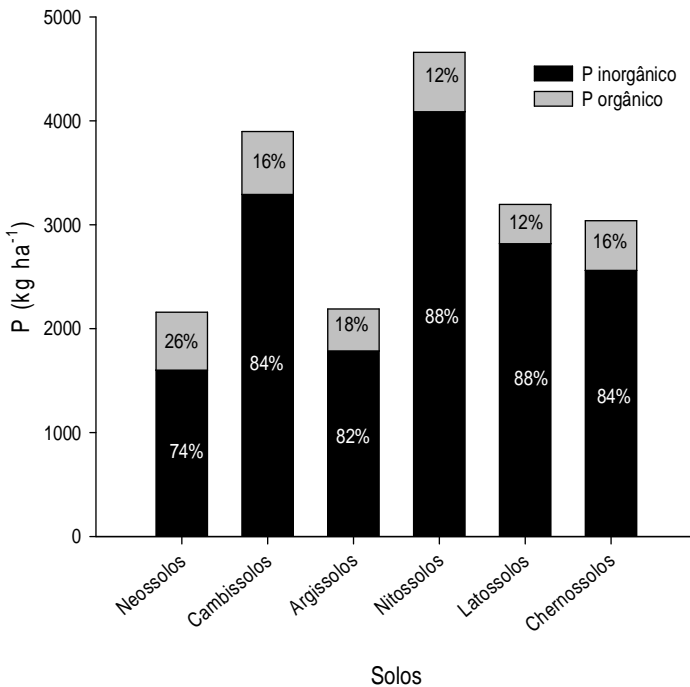
Fonte: produção do próprio autor.

Figura 8. Estoque das formas de P inorgânicas (Pi-RTA, Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1, Pi-HCl, Pi-NaOH 0,5, P-residual) e formas orgânicas (Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1, Po-NaOH 0,5) no horizonte A de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados.



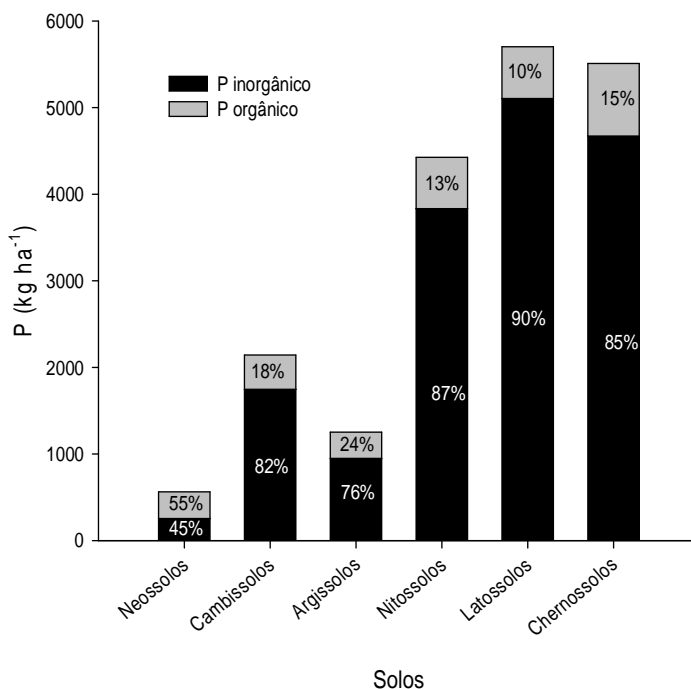
Fonte: produção do próprio autor.

Figura 9. Estoque das formas de P inorgânicas (Pi-RTA, Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1, Pi-HCl, Pi-NaOH 0,5, P-residual) e formas orgânicas (Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1, Po-NaOH 0,5) em perfis de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais.



Fonte: produção do próprio autor.

Figura 10. Estoque das formas de P inorgânicas (Pi-RTA, Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1, Pi-HCl, Pi-NaOH 0,5, P-residual) e formas orgânicas (Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1, Po-NaOH 0,5) em perfis de Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados.



Fonte: produção do próprio autor.

Tabela 4. Estoque de P das formas inorgânicas e orgânicas no horizonte A e no perfil dos solos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes naturais.

Solos	Formas inorgânicas		
	Horizonte A ----- Kg ha ⁻¹ -----	Perfil do solo ----- Kg ha ⁻¹ -----	Hz A/Hz A + Hz B %
Neossolos	1435	1602	90
Cambissolos	1498	3291	46
Argissolos	535	1786	30
Nitossolos	1430	4087	35
Latossolos	806	2817	29
Chernossolos	1227	2560	48

Solos	Formas orgânicas		
	Horizonte A ----- Kg ha ⁻¹ -----	Perfil do solo ----- Kg ha ⁻¹ -----	Hz A/Hz A + Hz B %
Neossolos	442	557	79
Cambissolos	384	605	63
Argissolos	210	404	52
Nitossolos	311	572	54
Latossolos	163	378	43
Chernossolos	285	479	59

Fonte: produção do próprio autor. Hz A = Horizonte A. Hz A + Hz B = Perfil do solo * percentual de P no horizonte A = (Hz A/Hz A + Hz B)*100.

Tabela 5. Estoque de P das formas inorgânicas e orgânicas no horizonte A e no perfil dos solos Neossolos, Cambissolos, Argissolos, Nitossolos, Latossolos e Chernossolos do Estado de SC, em solos sob ambientes antropizados.

Solos	Formas inorgânicas		
	Horizonte A ----- Kg ha ⁻¹	Perfil do solo -----	Hz A/Hz A + Hz B %
Neossolos	110	256	43
Cambissolos	424	1747	24
Argissolos	337	950	35
Nitossolos	1277	3832	33
Latossolos	1541	5104	30
Chernossolos	2561	4672	55
Solos	Formas orgânicas		
	Horizonte A ----- Kg ha ⁻¹	Perfil do solo -----	Hz A/Hz A + Hz B %
Neossolos	73	307	24
Cambissolos	163	396	41
Argissolos	118	303	39
Nitossolos	176	593	30
Latossolos	308	599	51
Chernossolos	641	837	77

Fonte: produção do próprio autor. Hz A = Horizonte A. Hz A + Hz B = Perfil do solo * percentual de P no horizonte A = (Hz A/Hz A + Hz B)*100.

2.6 CONCLUSÕES

As frações de P apresentaram variabilidade entre as ordens dos solos. De maneira geral, em solos sob ambientes naturais os Nitossolos, Cambissolos e Latossolos apresentaram os maiores teores de P total. Os Chernossolos e Argissolos valores intermediários, e os Neossolos os teores mais baixos de P total. Para

solos sob ambientes antropizados os Latossolos, Chernossolos, Nitossolos apresentaram os maiores teores de P total. Os Cambissolos e Argissolos valores intermediários, e os Neossolos os teores mais baixos de P total.

Em solos sob ambientes naturais e ou antropizados, os Neossolos apresentaram a maior participação da fração lábil de P, porém com os menores teores de P estocado no solo. Os Latossolos, Nitossolos e Chernossolos apresentaram as maiores participações das frações moderadamente lábil e não lábil de P, no entanto com os maiores teores de P estocado no solo.

O reservatório dos teores das formas de P orgânico em solos sob ambientes naturais foram decrescente na seguinte ordem de solos: Cambissolos, Nitossolos, Neossolos, Chernossolos, Argissolos e Latossolos. Por outro lado em solos sob ambientes antropizados os teores foram decrescente na ordem de Chernossolos, Latossolos, Nitossolos, Cambissolos, Neossolos e Argissolos. As formas inorgânicas em solos sob ambientes naturais os teores de P foram decrescente na ordem de Nitossolos, Cambissolos, Latossolos, Chernossolos, Argissolos e Neossolos. Nos solos sob ambientes antropizados as formas inorgânicas foram decrescente dos Latossolos, Chernossolos, Nitossolos, Cambissolos, Argissolos e Neossolos.

3 FRACIONAMENTO QUÍMICO E RESSONÂNCIA NUCLEAR MAGNÉTICA DO FÓSFORO EM USOS DO SOLO EM AMBIENTE DE ALTITUDE EM SANTA CATARINA

3.1 INTRODUÇÃO

Em ecossistemas naturais, com solos pouco desenvolvidos, a disponibilidade de P é estabelecida pela dissolução de uma fonte primária, como os fosfatos de cálcio (TIESSSEN et al. 1984). No entanto, em solos desenvolvidos, a decomposição e mineralização da matéria orgânica se torna uma importante fonte de P, desde que as fontes minerais estejam retidas, na sua maior parte, em formas menos disponíveis (VINCENT et al. 2010). Os teores de P disponível no solo em ecossistemas naturais são geralmente baixos e a conversão de ecossistemas naturais para a produção agrícola, com a substituição de plantas nativas adaptadas às condições locais por plantas com maior exigência nutricional, demanda em aplicações de adubações e corretivos de solo necessários para promover o aumento da disponibilidade e da absorção de P pelas plantas.

Tiessen et al. (1984) e Beck & Sanches, (1994) observaram que em ecossistemas naturais a ciclagem das formas orgânicas está relacionada com a disponibilidade de P. Para esses autores, em solos pouco desenvolvidos ou adubados, as frações inorgânicas lábeis tamponam parte do P disponível do solo enquanto em solos desenvolvidos ou sem adubação, esses autores verificaram que as formas inorgânicas e orgânicas de labilidade intermediária tamponam o P disponível do solo.

O acúmulo de matéria orgânica (M.O.) no solo pode ser estabelecido pelas condições edafoclimáticas. Neste caso, em regiões de altitude (acima de 800 m do nível do mar) sob clima subtropical, esse acúmulo de M.O. no solo pode ocorrer pela baixa taxa de decomposição, acarretando em maiores teores de M.O. nesses solos. Assim, a contribuição de frações orgânicas de P nos teores absorvidos pelas plantas pode, em culturas de baixa exigência em P, ser suficiente para a manutenção da disponibilidade. Nessas condições, sistemas de manejo que promovam aumento de M.O. ao solo também contribuem para o aumento de formas mais lábeis de P orgânico, com diminuição da adsorção e consequente aumento da disponibilidade de P para as plantas (Andrade et al. 2003), sendo necessário considerar a matéria orgânica do solo para o melhor entendimento da ciclagem do P e sua disponibilidade para as plantas (CHAPIUS LARDY et al. 2002).

A implantação de sistemas com cultivos perenes pode favorecer esse aumento do teor de M.O., o que pode proporcionar aumento dos teores de P orgânico (Po). As diferentes formas de Po no solo, com distintos graus de estabilidade, refletem a sua disponibilidade, daí a necessidade de caracterizar essas frações para quantificar sua contribuição no fornecimento de P para as plantas (MACHADO et al. 1993). Na M.O. o P inorgânico (Pi) é incorporado na estrutura dos compostos orgânicos, tornando-se parte da fração, que poderá ser mineralizado para retornar para a solução do solo na forma inorgânica e ser absorvido pelas plantas ou microrganismos.

Assim, o cultivo em ecossistemas com o desenvolvimento da atividade agrícola, onde há predominância das formas de P de baixa labilidade, a absorção de P pelas plantas pode estar associada às

formas de menor labilidade quando na ausência da aplicação de adubação.

Dessa maneira, há necessidade da identificação das formas de P do solo que podem se estabelecer como fonte aos ecossistemas e sua capacidade de contribuição para o P lábil, para que o manejo da adubação em termos de reposição das quantidades exportadas pelas culturas seja adequado, principalmente porque a perenidade das culturas dificulta a avaliação do aporte de nutrientes do solo em função de existir durante o desenvolvimento das culturas a possibilidade da disponibilização de P de formas não lábeis, dificultando a interpretação do estado de fertilidade do solo. Com isso, o uso de métodos de identificação de diferentes formas de P é necessário para a compreensão dessa dinâmica de P no solo.

O método de fracionamento químico possibilita essa quantificação de distintas formas de P, baseada em uma extração sequencial numa mesma amostra, capaz de definir formas de menor labilidade à formas não lábil. No entanto, o fracionamento químico disponibiliza informações somente sobre a disponibilidade de P em cada fração, e não identifica qual composto é extraído. A caracterização desses compostos de P condiciona a utilização de técnicas como a espectroscopia de ressonância magnética nuclear, que possibilita a identificação dessas formas de P, principalmente orgânicas.

3.2 REVISÃO DE LITERATURA

O solo é a fonte natural essencial que suporta importantes ecossistemas e tem um papel fundamental na relação entre a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a sua qualidade. Como elemento essencial

para a qualidade do solo, a disponibilidade do P é dependente tanto da mineralogia do solo quanto dos processos biológicos de decomposição dos resíduos orgânicos. Porém, o P se encontra adsorvido quimicamente aos constituintes coloidais do solo com diferentes energias e, dessa maneira, uma pequena fração está em formas disponíveis, sendo o restante está distribuído em formas de labilidades intermediárias e não lábeis. No entanto, quando há conversão dos ecossistemas naturais em áreas cultivadas, onde não há adição de P, a disponibilidade de P está relacionada à ciclagem das formas orgânicas, sendo que a perturbação do sistema pela introdução de outras espécies vegetais ou pelo aumento da biomassa vegetal e adubação, pode acarretar em aumento na mineralização de P orgânico, por causa do incremento também na atividade microbiana (CONDRON & GOH, 1989; FRIZANO et al. 2003). Sobre esse efeito de conversão de ecossistemas naturais em áreas agrícolas, muitos autores constataam que ocorrem mudanças nas frações inorgânicas e orgânicas de P no solo (GUGGENBERGER et al. 1996; LILIENFEIN et al. 2000; CHEN et al. 2003; SOLOMON et al. 2002).

Em ecossistemas de produção agrícola com plantas anuais, a disponibilidade de P para as plantas deve ser imediata, no qual os teores disponíveis e determinados pela análise de solo devem compreender apenas formas com fácil dessorção da fase sólida do solo. Já para culturas perenes, há uma maior possibilidade das formas menos lábeis de P serem aos poucos transformadas em formas lábeis (Gatiboni et al. 2013) e, desse modo, as plantas terem uma melhor possibilidade de utilizar o P armazenado em outras formas de menor labilidade, como descrito por Gatiboni et al. (2005) e Gatiboni et al. (2007) em cultivos de solo

por longo prazo em cultivos com baixas adições de fosfato.

Nos sistemas naturais a fração orgânica é um componente importante nos processos biogeoquímicos do solo, no qual nos processos geoquímicos determina a dinâmica de P em longo prazo, e nos processos biológicos influenciam a sua distribuição de P no solo a curto prazo (WALBRIDGE, 1991). Silveira et al. (2006) trabalharam com dez ordens de solo mais comuns no semi-árido e verificaram que as frações de Po por serem frações de P produzidas biologicamente e pela maior homogeneidade entre solos, parecem ser relativamente mais independentes dos fatores de formação dos solos e mais dependentes das condições de acumulação de matéria orgânica.

Na Região Sul do Brasil as condições edafoclimáticas constituíram ecossistemas específicos, como definido em regiões de altitude, onde em função de clima e relevo os solos formados nesses ambientes caracterizam na maioria com baixa profundidade, alto teor de M.O. e alta acidez. Essas particularidades desses ambientes limitou a utilização desses solos com a exploração agrícola com culturas anuais, devido ao alto custo de corretivos e adubações.

Uma extensa região de altitude é localizada no sul do Planalto Catarinense, apresentando grandes áreas compostas por ecossistemas naturais de campos nativos entremeados por florestas. Nessas áreas de campos de altitude, devido a ação antrópica, ocorreu a descaracterização dos ambientes e nesses campos formados basicamente por gramíneas a atividade principal é a pecuária de corte extensiva. No entanto, por caracterizar uma baixa produtividade nas áreas de campos nativos, as indústrias de celulose e papel instaladas na região fomentaram a atividade com áreas

cultivadas por florestamento de pinus, o que gerou uma conversão de campos de pastagens nativas para florestamentos. Da mesma forma, a atividade da fruticultura se destacou na região dos campos de altitude, com o fomento dos órgãos públicos com a implantação do Projeto de Fruticultura de Clima Temperado – Profit, pelo Estado de Santa Catarina, através da Lei nº 4.263, de 1968, que estabeleceu incentivos fiscais com o plantio da cultura da maçã, em função das características climáticas a produção foi desenvolvida em muitas áreas de campos nativos com a implantação de pomar de macieira na região.

Yan'an Tong & Fan Hongzhu, (2007) identificaram que a macieira tem dois períodos de demanda de P, sendo que o primeiro é na fase de crescimento dos frutos e o segundo após a colheita dos frutos para repor as reservas de P em todos os órgãos de armazenamento de plantas. Segundo esses autores, a adubação fosfatada é recomendada a fim de compensar anualmente a quantidade removida pelas frutas e folhas. No entanto, nos pomares de macieira da região o manejo da adubação fosfatada normalmente é realizada no momento da implantação dos pomares, e posteriormente sem a reposição de manutenção, devido a baixa resposta da cultura. Na implantação dos pomares essa adubação é realizada exclusivamente na linha de plantio, sendo que a entrelinha do pomar não recebe a adubação. Dessa maneira, os pomares da região produzem frutos sem a adição anual de P, onde esse nutriente é fornecido pelos compartimentos de P do solo.

Para o agroecossistema de cultivo de florestamento de *Pinus taeda*, a espécie apresenta adaptação aos solos ácidos e se desenvolve em solos de baixa fertilidade, sem apresentar estresse nutricional

aparente em regiões do sul do Brasil, especialmente nos estados do Paraná e Santa Catarina. Em função das características do solo e clima, e nessa circunstância algumas áreas de campo nativo foram convertidas para o plantio dessa espécie no Estado de Santa Catarina, principalmente no Planalto Catarinense. O agroecossistema relacionado à área de florestamento o pinus é atualmente utilizado para a produção de madeira, laminados e também de celulose. Essas áreas geralmente não recebem adubação. Como em outras plantas perenes, as espécies do gênero de Pinus tem a capacidade de formar colônias de fungos micorrízicos arbusculares no seu sistema radicular. Essa associação entre o fungo e as raízes da planta auxilia na absorção de nutrientes pelas plantas.

À vista disso, a baixa resposta de sistemas de cultivo com plantas perenes pode estar ligada à disponibilidade de formas de P. Devido a isto, a estimativa da fração lábil de P no solo, através de extratores químicos de rotina, pode não representar a real capacidade do solo em sustentar a absorção do nutriente pelas plantas perenes. Estes extratores estimam a quantidade do elemento adsorvido com fraca energia as partículas coloidais do solo e que potencialmente podem repor rapidamente a solução do solo quando da absorção pelas plantas. A determinação dos teores de P pelos extratores químicos representa uma situação estática, negligenciando outras formas deste nutriente, como àquelas ligada a matéria orgânica ou aos minerais do solo com maior energia, que podem contribuir para sua disponibilidade a médio e longo prazo. Por isso, a identificação efetiva do nível do P no solo deverá levar em consideração os teores de P armazenados em diferentes formas no solo. Sendo assim, o reconhecimento das formas do P no solo na sua

forma inorgânica e orgânica é fundamental para a compreensão da dinâmica do nutriente.

O fracionamento químico de P é um método que promove a extração sequencial numa mesma amostra e envolve extratores químicos com capacidade crescente de extração de P, no qual visa a identificação das formas preferenciais com que o P é retido no solo. Dessa forma, são usados extratores que distinguem as formas lábeis das recalcitrantes. O método de Hedley et al. (1982) possibilita a caracterização das formas inorgânicas e orgânicas, baseadas na extração sequencial de formas lábeis, pouco lábeis e não lábeis. A vantagem deste método é a obtenção de informações sobre a disponibilidade de P em curto e longo prazos (Zamuner et al. 2008), por meio dos valores das várias frações de P, de vários graus de disponibilidade para as plantas (SCHMIDT et al. 1997). As frações de P foram definidas por Cross & Schlesinger, (1995) que agruparam em P geoquímico e biológico para facilitar a compreensão das diferentes formas. Para esses autores a representação do P geoquímico é composto pela soma de todas as formas inorgânicas mais o P residual, e já o P biológico é a soma das frações orgânicas. Esses autores também propuseram que nas formas lábeis de P, pode-se pela relação do P orgânico em NaHCO_3 e as formas lábeis ($\text{Pi-RTA} + \text{Pi-NaHCO}_3 + \text{Po-NaHCO}_3$) definir o P orgânico facilmente mineralizável.

O fracionamento químico fornece informações sobre a disponibilidade de P em cada fração, mas não fornece informações sobre o tipo de estrutura dos compostos extraídos, principalmente do Po. A caracterização das formas de Po levou ao uso de técnicas como a espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN) (LEINWEBER et al. 1997; CADE-MENUN et al. 2002) que possibilitaram avanços

fundamentais no conhecimento das formas de P orgânico. A técnica de RMN utiliza de extratores com soluções de hidróxido de sódio mais o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) (Turner et al. 2003) que promove a extração de compostos orgânicos e, por consequência, de P orgânico.

A análise pela técnica da ressonância magnética nuclear é uma forma de espectrometria de absorção sob influência de um campo magnético que mede a absorção de radiação eletromagnética na região de radiofrequência pelos núcleos dos átomos de uma molécula (SILVERSTEIN et al. 1994). Essa medida da absorção de radiação depende dos núcleos da molécula. A identificação dos compostos é um registro gráfico (espectro de RMN) das frequências dos picos de absorção contra suas intensidades. A identificação dos compostos é medida pelo seu deslocamento químico (δ), unidade composta pela diferença de absorção em relação ao composto de referência, no caso do P, o H_3PO_4 85%. Atualmente alguns pesquisadores trabalham com outros compostos de referência como o ácido metileno difosfônico (MDPA) (Turner, 2008; Doolete et al. 2010; Doolete et al. 2011), porém este composto de referência apresenta o pico exatamente na mesma região dos fosfonatos naturais, sendo que o seu uso em solos pode interferir no sinal do pico de compostos de fosfonatos.

Estudos realizados pela técnica de RMN têm verificado que entre as formas de P, destacam-se os compostos de fosfatos inorgânicos (ortofosfato e pirofosfato) e orgânicos (monoésteres, diésteres, fosfonatos e polifosfatos). Para os fosfatos orgânicos os monoésteres são o grupo de P orgânico dominante na maioria dos solos (Harrison, 1987), os quais os fosfatos de inositol são geralmente os mais elevados (TURNER

et al. 2002). Eles ocorrem principalmente como fosfatos de inositol nas formas de isômeros de *myo* e *scyllo* inositol hexafosfato. Outros fosfatos monoésteres também ocorrem nos solos em pequenas quantidades, incluindo açúcares fosfatados, fosfoproteínas e mononucleotídeos, mas quantitativamente o hexafosfato de inositol (*myo* e *scyllo*) é predominante, pois é adsorvido com energia de ligação elevada devido à sua elevada carga residual, principalmente pela formação de complexos com os óxidos de ferro e de alumínio no solo.

O *myo*-hexafosfato de inositol é conhecido como fitato e pode constituir a maior parte do P orgânico em alguns solos (TURNER, 2007; DOOLETTE et al. 2010). Já os fosfatos diésteres incluem os ácidos nucleicos (DNA e RNA), fosfolípidos e ácido teicóico. Eles normalmente constituem menos do que 10% do P orgânico solo (TURNER et al. 2003; CONDRON, et al. 2005). Nos diésteres, pela menor carga residual, há menor energia de adsorção, resultando em compostos com menor adsorção aos colóides do solo. Resultados referentes a essa menor estabilidade dos diésteres são relatadas por Taranto et al. (2000), que adicionaram RNA (P diéster) e fitato (P monoéster) em colunas de solo e após dois meses da adição, observaram que a adição de fosfato diéster resultou no aumento das frações de P_i e P_o $NaHCO_3$ e P_i $NaOH$. No entanto, com a adição de fitato, ocorreu aumento dos teores de P_o $NaHCO_3$, P_o $NaOH$ e P_o $NaOH$ ultrasonificado mostrando que não houve mineralização do P monoéster. Dessa forma, os fosfatos de inositol são considerados altamente resistentes a mineralização e preferencialmente estáveis comparados com outros compostos de P do solo. (BERG & JOERN, 2006). Por outro lado, Doolete et al. (2010) definiram que o fitato não é uma forma altamente estável de P em todos os

solos e podem ser uma fonte biodisponível P, pois esses autores mostraram que a aplicação de fitato em solos calcariados foi rapidamente degradado. Para Turner et al. (2011) esse fato também é confirmado, pois verificaram que em solos de florestas as propriedades do solo exercem um forte controle sobre as formas de P orgânico, sendo que em solos alcalinos com altos teores de P e matéria orgânica, os fosfatos monoésteres eram em maior proporção do total de P orgânico. Já para os fosfatos diésteres a proporção era maior em solos muito ácidos com baixos teores de P e matéria orgânica.

Para Gatiboni et al. (2005) a utilização de P orgânico como fonte primária de P ocorre somente quando a concentração de P inorgânico é extremamente baixa e as plantas apresentam sinais de estresse nutricional.

As formas de P e a disponibilidade podem também serem modificadas pelo uso do solo com práticas agrícolas. Para Condrón et al. (1990) reportaram que em solos cultivados ocorreram uma diminuição de P orgânico do solo devido à mineralização e remoção de P pelas culturas. Esses autores apresentaram que o ortofosfato diéster e o ácido teicóico foram detectados no solo sem cultivo, mas não foram presentes nos solos cultivados. Para Condrón et al. (1996) a conversão de campos para florestas de pinheiros resultou em redução substancial de ortofosfatos monoésteres. Para Hedley et al. (1982) trabalhando com fracionamento químico de P reportaram que o teor de P total em solos cultivados foram 29% menor que em solos de pastagens e que a maioria dessas diferenças foi nas frações orgânicas e residual. Negassa & Leinweber, (2009), sugeriram que as frações orgânicas são depletadas em solos tropicais com baixas entradas de P e sugeriram também que a combinação de dados de fracionamento químico com

técnicas analíticas como ^{31}P NMR podem melhorar a compreensão do P no solo.

Conforme apresentado, o uso da técnica de ressonância nuclear magnética de P aliado ao fracionamento químico é fundamental para o entendimento das transformações qualitativas e quantitativas das formas de P orgânico em solos cultivados.

3.3 HIPÓTESES E OBJETIVOS

3.3.1 Hipóteses

Em solos de regiões de maior altitude o uso do solo modifica a distribuição das frações de P.

3.3.2 Objetivos

Avaliar a distribuição e a quantificação das formas inorgânicas e orgânicas de P no solo pelo fracionamento químico em agroecossistemas de região subtropical de altitude com alto teor de M.O.

Avaliar, pelo fracionamento químico e ressonância magnética nuclear de P, quais as formas de P são alteradas quando do uso do solo com plantas de pinus e macieiras.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Descrição do local e caracterização do solo

Amostras de solo foram coletadas na região de São Joaquim, SC (28°11'54.09"S, 50° 4'41.25"W a 1100 metros acima do nível do mar). O solo foi derivado de basalto, e classificado como Cambissolo Húmico

(EMBRAPA, 2013). O clima da região é temperado mesotérmico caracterizado com Cfb de acordo com a classificação climática de Köppen, com verões frescos e invernos amenos. A precipitação média anual é de 1.561 mm e a temperatura média anual é de 13°C.

A área de estudo foi escolhida em agroecossistemas de uso e manejo predominantes na região. As amostras de solos foram coletadas da camada de 0 – 10 cm com três repetições, em quatro áreas, sendo: 1) florestamento de pinus (F); 2) linha de cultivo convencional de pomar de macieira (PL); 3) entrelinha de cultivo convencional de pomar de macieira (PEL); 4) pastagem nativa sem pastejo (CN). Cada agroecossistema foi composto de uma área. Na área de florestamento de pinus as amostras de solo foram coletadas nas entrelinhas do plantio do pinus, correspondendo a uma distância de 120 cm do pinus. As amostras de solo coletadas na linha do pomar de macieira foram entre as plantas a uma distância de 130 cm da planta. Para as amostras de solo coletadas na entrelinha do pomar de macieira foram ao centro da entrelinha, que correspondem aproximadamente 300 cm da planta. As coletas das amostras de solo foram na época da estação de inverno.

O agroecossistema constituído da área de pomar de macieira comercial foi implantado no ano de 1980, e não recebe adubação fosfatada desde 1993. Desde a implantação o total de P aplicado foi de 325 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Com sistema de produção comercial utiliza a variedade Fuji e espaçamento de 2,7 m entre plantas e 6 m entre linhas, sendo composta de 80% variedade Fuji e 20% variedade Gala. No pomar de macieira são aplicados 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de fertilização nitrogenada colocados na projeção da copa das árvores. No cultivo de pomar de macieira na linha e na entrelinha o manejo

da vegetação é realizado com roçadas, sendo que as plantas cortadas permanecem sobre a superfície do solo, o que pode contribuir para o aumento do carbono orgânico do solo (BAYER; MIELNICZUK, 1997). Na área de estudo podem identificar espécies como plantas de cobertura como azevém (*Lolium multiflorum*), trevo branco (*Trifolium repens*), aveia preta (*Avena strigosa*), e plantas daninhas como a buva (*Erigeron bonariensis*), língua de vaca (*Rumex obtusifolius*), picão preto (*Bidens pilosa*), caruru (*Amaranthus spp.*), losna-do-campo (*Ambrosia elatior*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), guanxuma (*Sida rhombifolia*) (PELIZZA et al. 2009).

No agroecossistema de florestamento de pinus é composto por *Pinus taeda* L. com 10 anos de idade, sem adubação. Na área de estudo em função de ser florestamento de pinus com 10 anos, há pouca luz para o crescimento de outras espécies, assim, a maior parte da superfície do solo é coberta por acículas de pinus.

O agroecossistema constituído pela área de campo nativo, que corresponde a região dos campos de altitude de SC, a vegetação é composta por gramíneas e leguminosas nativas da região, sendo composta por espécies estoloníferas, rizomatosa e cespitosa. Algumas espécies estão presentes nestes sistemas como carqueja (*Baccharis trimera*), alecrim do campo (*Vernonia nudiflora*), mio-mio (*Baccharis coridifolia*), flor-das-almas (*Senecio brasiliensis*), caraguatá (*Eryngium horridum*), capim caninha (*Andropogon lateralis*, *A. ncanus*), capim macega (*Erianthus angustifolius*), capim barba-de-bode (*Aristida pallens* Cav., *Paspalum*).

Após a coleta as amostras foram encaminhadas ao laboratório de fertilidade e química do solo do CAV. As amostras na umidade de coleta foram passadas em peneiras com malha de 2 mm e imediatamente submetidas à extração de compostos orgânicos com

NaOH para a análise de ressonância magnética nuclear de P (^{31}P RMN). O solo restante da amostra foi seco em estufa com circulação de ar à 65 °C, passada em peneira com malha 2 mm e armazenado em frascos plásticos.

3.4.2 Coleta e análise químicas e físicas dos solos

As amostras de solos acondicionadas em potes plásticos foram realizadas análises químicas e físicas para caracterização, cujos resultados estão expostos na Tabela 6. O pH em água foi determinado na relação 1:1. A M.O. foi determinada por ignição à 375°C. Todos os nutrientes foram extraídos em acetato de amônio em pH 4,8. O P foi determinado colorimetricamente, todos os outros por ICP-OES (espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente).

Para a análises físicas foram determinados os atributos granulométricos pelo método da pipeta EMBRAPA, (1997).

Tabela 6: Atributos químicos e físicos da camada de 0 – 10 cm de um Cambissolo Húmico, coletado em áreas sem aplicação de fertilizantes fosfatados, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.

Atributos	Agroecossistema			
	F	PL	PEL	CN
Argila ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	626	625	597	556
Areia ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	80	91	119	150
Silte ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	294	284	284	294
pH (H ₂ O) (1:1)	4,7	5,7	5,6	5,0
P (mg kg ⁻¹)	0,8	0,8	0,8	0,7
K (mg kg ⁻¹)	105,7	104,3	124,9	136,5
Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,9	8,8	9,2	6,5
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,7	2,8	3,7	2,2
Al (cmol _c dm ⁻³)	2,1	0,4	0,2	1,5
M.O. (%)	13,1	11,1	13,3	14,7

Fonte: produção do próprio autor. F = Florestamento de pinus. PL = Pomar de macieira na linha. PEL = Pomar de macieira na entrelinha. CN = Campo nativo. pH = pH em água; P = P disponível; K = potássio trocável; Al = alumínio trocável; Ca = cálcio trocável; Mg = magnésio trocável; M.O. = matéria orgânica. (2) = determinado pelo método da pipeta EMBRAPA, (1997).

Nas amostras de solo foram determinados os níveis de óxidos de ferro e alumínio extraídos com oxalato de amônio (Tedesco et al. 1995) e ditionito-citrato- bicarbonato (DCB) (Mehra & Jackson, 1960) foram determinados por ICP – OES após a extração. Teores de óxidos de ferro e alumínio conforme apêndice M.

3.4.3 Análise de Ressonância Magnética Nuclear de P (^{31}P RMN)

Para as análises de ^{31}P RMN as amostras em triplicata, foram moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm com a umidade de coleta. Em seguida utilizando as amostras com umidade de coleta, e corrigindo o peso em função da determinação da umidade foram pesados 09 gramas de solo (peso seco) e acondicionadas em snap-cap de 100 mL e foi adicionado 90 mL de solução extratora de 0,25M NaOH + 0,05M Na_2EDTA e agitado em agitador de Wagner por 16 horas com movimentos de agitação vertical 360° (33rpm). Posteriormente foi filtrado o extrato sobrenadante e transferido para Becker (100 mL) e congelado a -80°C em ultra-freezer. Após congelamento, o extrato foi liofilizado até a secagem completa, obtendo-se aproximadamente 2 g de extrato liofilizado. O material liofilizado foi encaminhado para análise de ^{31}P RMN no Laboratório de Espectroscopia de Compostos Orgânicos do Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). No momento da análise, foi feita a re-solubilização desse material utilizando 1 g do extrato liofilizado e adicionando 3 mL de NaOH 0,25 M + Na_2EDTA 0,05M e 0,3 mL de D_2O . O material re-solubilizado foi agitado em agitador vortex por 5 minutos e em seguida a amostra foi centrifugada 3500 rpm, e posteriormente filtrada em filtro de 0.25- μm . O espectro de ^{31}P RMN foi obtido em espectrômetro Brucker Advance DPX 400 na frequência de 162 MHz com desacoplamento de prótons e os deslocamentos químicos foram obtidos relativamente ao H_3PO_4 85%. Para a leitura das amostras foram utilizados os seguintes parâmetros de acordo com Cade-Menum et al. (2010): ângulo de pulso de 90° ; temperatura de 20°C ; 0,43

segundos de tempo de aquisição; 3 segundos de tempo de relaxamento. Para a obtenção de espectros com boa resolução, foram necessários de 18162 a 44172 scaneamentos, dependendo do teor de P das amostras e a área dos picos foi obtida por integração eletrônica de uma base de referência de 5 Hz. Os compostos de P foram identificados pelo seu deslocamento químico (ppm) em relação ao ácido ortofosfórico 85%, onde o pico de ortofosfato padrão foi fixado em 6,2 ppm. Foi utilizado o software Mestre-C v.- 2.3 para a integração da área dos picos, as quais foram calculadas por integração em espectros processado com uma linha de ampliação de 5 Hz. Os deslocamentos químicos foram interpretados de acordo com Turner et al. (2003a); Cade-Menun, (2005) e Doolette et al. (2009).

3.4.4 Fracionamento químico de P

As amostras foram submetidas ao fracionamento químico de P mediante extrações sucessivas, seguindo metodologia proposta por Hedley et al. (1982), com as modificações propostas por Condrón & Goh, (1989) e adaptações realizadas por Gatiboni et al. (2013) (ver Figura 11). Amostras de 0,5 g de solo, com três repetições, foram extraídas sequencialmente, sendo a primeira extração com resina trocadora de ânions (5x1cm) saturada com NaHCO_3 0,5 mol l^{-1} a pH 8,5 (adaptado de Gatiboni, 2003), acrescida de 10 mL H_2O destilada e deionizada, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto). Após a resina de troca iônica foi transferida para um tubo falcon contendo 10 mL HCl 0,5 mol l^{-1} com auxílio de uma pinça e lavada a resina com H_2O destilada e deionizada para remover as partículas de solo aderida. Após colocado a resina no tubo contendo

HCl $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ foi deixado em repouso por 90 minutos com a tampa aberta e após agitado por 30 minutos a 120 rotações por minuto em agitador orbital, onde foi obtido o P inorgânico lábil (Pi RTA) conforme anexos A, B e C. O solo no tubo foi centrifugado a 1400 g por 10 minutos, e com o solo decantado, foi descartado o sobrenadante cuidadosamente para evitar perda de solo, conforme anexo A.

O P inorgânico e orgânico lábil (Pi e Po NaHCO_3), adsorvidos nas superfícies das partículas coloidais do solo, foram extraídos do solo remanescente da extração anterior, adicionando 10 mL NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ a pH 8,5, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante, adicionado 5 mL de NaCl $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior conforme anexo A, para a análise das frações de Pi e Po NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$, conforme anexos D e E. As frações de Pi-RTA, Pi- NaHCO_3 e Po- NaHCO_3 foram definidas como formas lábeis de P (ver Figura 11).

O P inorgânico moderadamente lábil (Pi NaOH) associado aos óxidos de ferro e alumínio e o P orgânico (Po NaOH), associado aos compostos húmicos, foram extraídos com NaOH $0,1 \text{ mol l}^{-1}$. Na amostra de solo remanescente da extração anterior foram adicionados 10 mL de NaOH $0,1 \text{ mol l}^{-1}$, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante, adicionado 5 mL de NaCl $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior conforme anexo A, para a análise das

frações de Pi e Po NaOH 0,1 mol l⁻¹, conforme anexos D e E.

O P inorgânico contido nos fosfatos de cálcio e fortemente adsorvido as partículas coloidais do solo, considerado não disponível a curto prazo foi extraído adicionando 10 mL de HCl 1,0 mol l⁻¹ na amostra de solo remanescente da extração anterior, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante para outro recipiente, adicionado 5 mL de NaCl 0,5 mol l⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior, conforme anexo A, e para a análise da fração Pi HCl 1,0 mol l⁻¹, conforme anexo C.

O P inorgânico e orgânico fisicamente protegidos no interior de microagregados é representado pelas frações Pi e Po NaOH 0,5 mol l⁻¹, que foi realizada pela extração do solo remanescente adicionando 10 mL NaOH 0,5 mol l⁻¹ e ultrasonificação por 2 minutos a 120watts, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante, adicionado 5 mL de NaCl 0,5 mol l⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior, conforme anexo A, para a análise das frações de Pi e Po NaOH 0,5 mol l⁻¹, conforme anexos D e E.

As frações recalcitrantes de P inorgânico e orgânico no solo (P residual), o solo foi seco em estufa moído e submetido à digestão com H₂SO₄ + H₂O₂ concentrado + MgCl₂ saturado (BROOKES & POWSON, 1981), conforme anexo F.

As formas moderadamente lábeis foram compostas pelas frações de Pi e Po em NaOH 0,1M e

NaOH 0,5M e para as formas não lábeis foram formados pelas frações de Pi-HCl e P residual (ver Figura 11).

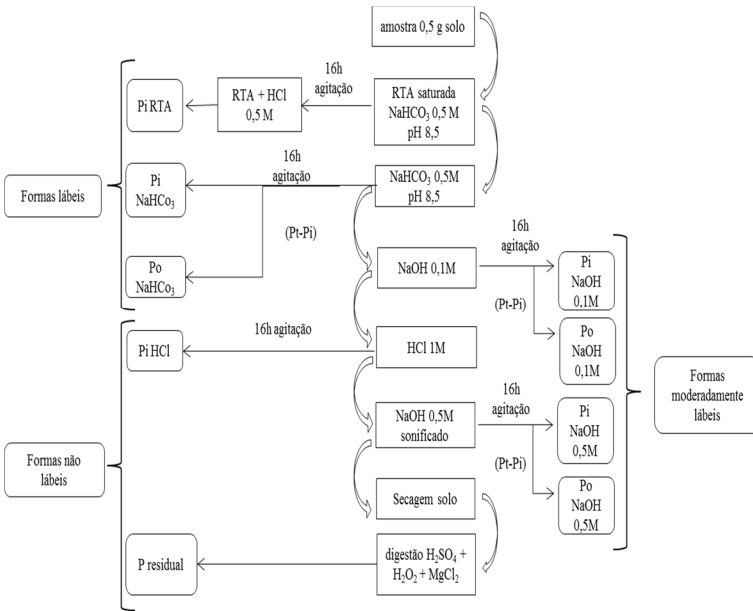
A determinação do P total dos extratos alcalinos por digestão dos extratos em NaHCO_3 0,5 mol l^{-1} , NaOH 0,1 mol l^{-1} e NaOH 0,5 mol l^{-1} , foi utilizado uma alíquota dos extratos e adicionado 10 mL persulfato de amônio 7,5% + 1 mL ácido sulfúrico 1:1 autoclavado em 121°C por 3 horas e completado o volume para 20 mL com água destilada e deionizada, conforme anexo E (USEPA, 1971).

O Po foi obtido pela diferença entre P total e P inorgânico, conforme Figura 11.

O P inorgânico dos extratos alcalinos em NaHCO_3 0,5 mol l^{-1} , NaOH 0,1 mol l^{-1} e NaOH 0,5 mol l^{-1} foi determinado pelo método de (DICK & TABATABAI, 1977), conforme anexo D.

O P inorgânico dos extratos ácidos em RTA, HCl 1,0 mol l^{-1} e P residual foi determinado por espectrofotometria de absorção molecular, segundo a metodologia de (MURPHY & RILEY, 1962), conforme anexo C.

Figura 11. Organograma das frações de P pelo fracionamento químico. Pi = P inorgânico. Po = P orgânico. RTA = resina trocadora de ânions. NaHCO₃ = bicarbonato de sódio. HCl= ácido clorídrico. NaOH = hidróxido de sódio.



Fonte: produção do próprio autor.

3.4.5 Análise estatística

Os efeitos dos ecossistemas sobre as frações de P no solo foram avaliados adotando um modelo linear com a análise de variância considerando os dados obtidos a partir de um delineamento inteiramente casualizado. As comparações entre os valores médios

das variáveis analisadas para as diferentes formas de P em cada ecossistema foram efetuadas com o uso do teste de Tukey. A análise foi conduzida usando-se o procedimento GLM do programa SAS[®] (Statistical Analysis System, 2003). Para o teste efetuado foi considerado o nível mínimo de significância de 5%.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Fracionamento químico das formas de P

Na Tabela 7 são apresentados os teores de P extraídos pelo fracionamento químico de Hedley nos agroecossistemas. As frações inorgânicas não diferiram significativamente entre os agroecossistemas. As primeiras frações inorgânicas que constituem as formas lábeis determinadas por Pi-RTA e Pi-NaHCO₃, representaram 1,4% do P total extraído no fracionamento (ver Tabela 7), na média dos agroecossistemas. Os teores de P extraídos pela RTA variaram entre 7,7 e 15,5 mg kg⁻¹ de P na profundidade de 10 cm. Na fração Pi-NaHCO₃ os teores foram entre 2,9 e 7,2 mg kg⁻¹ de P. De acordo com Gatiboni et al. (2007), as frações Pi-RTA e Pi-NaHCO₃ extraem formas de P lábeis que contribuem ativamente no suprimento de P para as plantas. Dessa maneira, foi observado no Pi lábil (Pi-RTA + Pi-NaHCO₃), que os teores de P não diferiram entre os agroecossistemas (ver Tabela 8).

As formas inorgânicas de P extraídas por NaOH 0,1 mol L⁻¹ (Pi-NaOH 0,1) e NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Pi-NaOH 0,5), que representam em geral o P inorgânico ligado aos óxidos de ferro e alumínio e às argilas silicatadas com energia de alta ligação (Cross & Schlessinger, 1995; Gatiboni, 2003), não diferiram entre os agroecossistemas (ver Tabela 7). Assim, para a soma das duas frações

(ver Tabela 8) constituída pelo Pi moderadamente lábil, observa-se que não houve diferença significativa entre os agroecossistemas.

Os teores de P extraídos por HCl 1,0 mol L⁻¹ (Pi-HCl) representam a forma de P inorgânico associada ao cálcio (Cross & Schlesinger, 1995) os resultados não diferiram entre os agroecossistemas e mostraram baixos teores de P em relação as outras formas do fracionamento, indicando que esses solos não possuem quantidades relevantes de fosfatos de cálcio, pois representou 0,2% do P total extraído no fracionamento (ver Tabela 7).

A fração de P residual, composta por formas de Pi e Po recalcitrantes, não diferiu entre os agroecossistemas, onde os teores de P variaram entre 581,3 e 668,1 mg kg⁻¹ de P, correspondendo em 51% do P total extraído no fracionamento (ver Tabela 7), o que indica que este solo é altamente sortivo.

As frações orgânicas de P incluem Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1 e Po-NaOH 0,5 e, conforme a Tabela 7, foi encontrado diferença significativa para as frações orgânicas de P em NaHCO₃ e NaOH 0,5. A fração de Po-NaHCO₃ estabelecida como uma forma orgânica disponível diferiu entre os agroecossistemas, em que no florestamento de pinus foi maior do que nas áreas dos pomares de macieira na linha e entrelinha. O agroecossistema de campo nativo não diferiu do florestamento de pinus na fração Po-NaHCO₃, em função de que o aporte de cobertura vegetal nesses agroecossistemas podem favorecerem os maiores teores na fração de Po-NaHCO₃, pois esta fração está associada a compostos orgânicos de fácil decomposição, os quais podem ser acumulados em situações de grande aporte de resíduos (GATIBONI, 2003). Essa maior fração de Po-NaHCO₃ nos

agroecossistemas de florestamento de pinus e campo nativo é possivelmente pela maior deposição de resíduos na superfície do solo. A variação da decomposição dos restos de raízes pode também contribuir na maior fração de P orgânico lábil, sendo que ambiente com taxas de decomposição podem afetar diretamente a atividade microbiana do solo. Essas variações na biomassa microbiana estão associadas à decomposição dos compostos orgânicos lábeis, favorecendo os maiores teores na fração de Po-NaHCO₃. Por outro lado, observa-se que na fração orgânica lábil de P, o agroecossistema de pomar de macieira na linha apresentou o menor teor de P, correspondendo em 9,4 mg kg⁻¹ de P (ver Tabela 8), o que pode indicar uso de Po lábil quando o solo é cultivado e há exportação de P da área. Da mesma forma, o menor teor de P no pomar de macieira na linha pode corresponder a menor deposição de resíduos na superfície.

Embora a forma de P orgânico contido na fração de Po-NaOH 0,1 não tenha diferido entre os agroecossistemas, essa fração apresentou os maiores teores de P que compõe as frações orgânicas do fracionamento, correspondendo entre 214,1 e 319 mg kg⁻¹ de P, o qual representa 53% na participação do P na fração moderadamente lábil (ver Tabela 7). A maior participação dessa fração também foi observada para diferentes classes de solo em outros estudos (ARAÚJO & SALCEDO, 1997; TOKURA et al. 2002).

Na fração de Po-NaOH 0,5 houve diferença entre os agroecossistemas, sendo que as áreas dos pomares de macieira na linha e entrelinha mostraram os maiores teores de Po. No entanto, essa fração de P orgânico mostrou entre os agroecossistemas participação média de 15% do Po. Para a fração orgânica moderadamente lábil composto pelo somatório de Po NaOH 0,1 e 0,5

observa-se que não houve diferença entre os agroecossistemas (ver Tabela 8). Isso pode-se atribuir que o uso do solo no agroecossistema de pomar de macieira na linha não são depletados os teores de P orgânicos em função do manejo do solo e desenvolvimento da cultura.

Tabela 7. Teores de P inorgânico e orgânico das frações pelo fracionamento de Hedley, em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.

Formas de P	Agroecossistema				
	F	PL	PEL	CN	CV
	----- mg kg ⁻¹ -----				
	----- % -----				
Pi-RTA	9,6 ^{NS}	15,5	8,8	7,7	43,7
Pi-NaHCO ₃	2,9 ^{NS}	7,2	5,3	4,6	42,3
Po-NaHCO ₃ *	16,3 a	9,4 c	10,8 bc	14,4 ab	14,4
Pi-NaOH0,1M	65,3 ^{NS}	139,2	52,8	53,3	50,8
Po-NaOH0,1M	301,1 ^{NS}	214,1	319,0	223,3	26,6
Pi-HCl 1M	1,4 ^{NS}	2,9	2,9	2,7	49,8
Pi-NaOH 0,5M	110,8 ^{NS}	124,3	93,7	100,8	18,8
Po-NaOH 0,5M *	20,4 b	54,2 a	60,8 a	49,5 ab	24,3
Pi-Residual	668,1 ^{NS}	612,3	581,3	594,7	6,2

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de nove repetições. * = Valores com letras diferentes na linha são significativos ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. F = florestamento de pinus. PL = Pomar de macieira na linha. PEL = Pomar de macieira na entrelinha. CN = Campo nativo.

Na tabela 9 são apresentadas as formas de P geoquímico e biológico, as quais não diferiram entre os agroecossistemas. As frações Po representaram em média entre os agroecossistemas 28% do P total

extraído do solo (ver Tabela 9). Cunha et al. (2007) verificaram em Cambissolo a 900m de altitude em fragmento florestal que o Po representou 37% do P total extraído. Da mesma maneira Oliveira et al. (2002) observaram que solos intemperizados o Po representou valores entre 25 e 35% do P total. Isso mostra que mesmo nesses solos de altitude, com altos teores de matéria orgânica, o P se encontra predominantemente em formas inorgânicas no solo.

O campo nativo e florestamento de pinus apresentaram percentagem de Po de 27 e 28%, respectivamente, enquanto na linha do pomar de macieiras o valor foi de 24% (ver Tabela 9). Embora esse menor percentual numérico do pomar de macieira na linha não houve diferença do percentual de P orgânico entre os agroecossistemas. Os teores de P biológico são condizentes com os teores de P orgânico total determinado pelo método de ignição, os quais foram de 103, 83, 94 e 72% em comparação do Po total do solo para os agroecossistemas de florestamento de pinus, pomar na linha, pomar na entrelinha e campo nativo, respectivamente.

Tabela 8. Formas inorgânicas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil e orgânicas de P lábil e moderadamente lábil, em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.

Formas de P	Agroecossistema				CV
	F	PL	PEL	CN	
	----- mg kg ⁻¹ -----				%
Pi lábil	12,5 ^{NS}	22,7	14,1	12,3	42,6
Pi moderadamente Lábil	176,1 ^{NS}	263,6	146,5	154,0	31,7
Pi não lábil	669,5 ^{NS}	615,2	584,2	597,5	6,2
Po Lábil *	16,3 a	9,4 c	10,8 bc	14,4 ab	14,4
Po moderadamente Lábil	321,5 ^{NS}	268,3	379,8	272,8	22,2

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de nove repetições. * = Valores com letras diferentes na linha são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. Pi lábil = Pi-RTA + Pi-NaHCO₃; Pi moderadamente lábil = Pi-NaOH 0,1M + Pi-NaOH 0,5M; Pi não lábil = Pi-HCl 1M + P-Residual; Po lábil = Po-NaHCO₃; Po moderadamente lábil = Po-NaOH 0,1M + Po-NaOH 0,5M. F = florestamento de pinus. PL = Pomar de macieira na linha. PEL = Pomar de macieira na entrelinha. CN = Campo nativo.

Tabela 9. Teores de P geoquímico, P biológico e o percentual de Po em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.

Agroecossistema	P		Po
	Geoquímico	biológico	
	----- mg kg ⁻¹ -----		%
Florestamento de pinus	858 ^{NS}	338 ^{NS}	(28)
Pomar na linha	902	278	(24)
Pomar na entrelinha	745	391	(34)
Campo nativo	764	287	(27)
CV (%)	10,9	21,7	

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de nove repetições. P geoquímico = somatório de P inorgânico em Pi-RTA, Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1M, Pi-HCl, Pi-NaOH 0,5M e P-residual. P biológico = somatório de P orgânico em Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1M e Po-NaOH 0,5M. Percentual de Po = valores em percentual do Po em relação ao P total do fracionamento químico. Percentual de Po = $(P \text{ biológico} * 100) / (P \text{ geoquímico} + P \text{ biológico})$. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey.

Na tabela 10 são apresentados os teores de P total determinado por digestão ácida, o P orgânico total determinado por ignição e o P total representado pelo somatório das frações do fracionamento químico. Para todos essas variáveis não foram verificadas diferenças entre os agroecossistemas. O P total no solo determinado por digestão ácida variou entre 934 e 1087 mg kg⁻¹ de P e a fração de P orgânico total variou de 327 e 418 mg kg⁻¹ de P, o que constitui entre 31 e 43% do P total do solo (ver Tabela 10). Assim, os dados são coerentes com os observados no fracionamento químico, onde o somatório das formas orgânicas representou de

24 a 34% do P total do fracionamento químico (ver Tabela 9). Como a fração residual do fracionamento também contém Po era esperado uma recuperação de Po inferior no fracionamento químico em relação ao Po total por ignição.

Pela extração sequencial, o P total do fracionamento, representado pela soma das frações inorgânicas e orgânicas do fracionamento químico revelou-se ligeiramente superior ao teor de P total por digestão variando entre 105 e 116%, em relação ao P total do solo (ver Tabela 10). Devido à manipulação da mesma amostra, a extração sequencial pode estar condicionada a fontes de erro (Gatiboni et al. 2013) e, em razão das sucessivas extrações no fracionamento químico, o somatório dos teores de P pode acumular erros ocorridos durante o procedimento laboratorial, o qual irá alterar a correta quantificação. Apesar disso, esses resultados de P total e P somatório são muito semelhantes, mostrando a precisão da análise no trabalho realizado.

Tabela 10. Teores de P total por digestão ácida, P orgânico total por ignição e P total do somatório das frações do fracionamento químico em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.

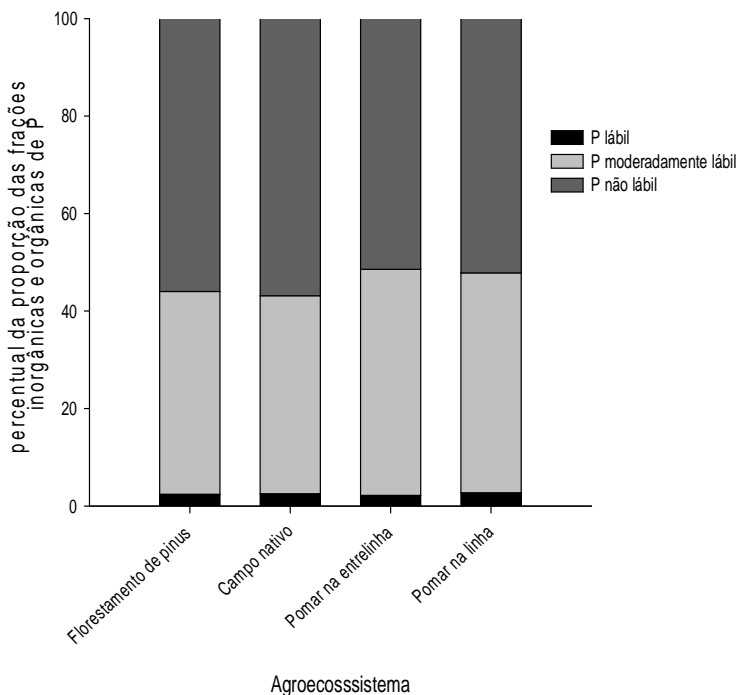
Formas de P	Agroecossistema				
	F	PL	PEL	CN	CV
	----- mg kg ⁻¹ -----				
P total digestão ⁽¹⁾	1034 ^{NS}	1087	1052	934	10,4
P orgânico total ⁽²⁾	327 ^{NS}	336	418	401	11,9
P total Fracionamento ⁽³⁾	1196 ^{NS}	1179	1136	1051	9,5
	(116) *	(112)	(105)	(113)	
	----- % -----				
P orgânico Total ⁽⁴⁾	32	31	40	43	

Fonte: produção do próprio autor. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. * = Valores entre parênteses representa o percentual de P extraído pelo fracionamento em relação ao P total por digestão. ⁽¹⁾ Extraído por digestão em bloco com H₂SO₄ concentrado + H₂O₂ 30%. ⁽²⁾ P orgânico total extraído por ignição (Olsen & Sommers, 1982). ⁽³⁾ somatório de P total pelo fracionamento químico de P. ⁽⁴⁾ Percentual de Po total = valores em percentual do Po total em relação ao P total digestão. Percentual de Po total = (P orgânico total*100)/P total digestão. F = Florestamento de pinus. PL = Pomar de macieira na linha. PEL = Pomar de macieira na entrelinha. CN = Campo nativo.

Na figura 12 são apresentados os percentuais entre as formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis, as quais não diferiram entre os agroecossistemas. Cross & Schlesinger, (1995) propuseram a definição de formas de P lábil aquelas extraídas por RTA (Pi) e também por NaHCO₃ (Pi e Po). As formas lábeis variaram entre 27 e 32 mg kg⁻¹ de P, o que constitui entre 2,2 e 2,7% na participação de P total nos agroecossistemas (ver Figura 12). Segundo esses

autores as formas moderadamente lábeis são constituídas pelo Pi e Po extraídos por NaOH 0,1 e NaOH 0,5, onde os teores de P variaram entre 427 e 532 mg kg⁻¹ de P, correspondendo entre 41 e 46% (ver Figura 12) na participação das formas de P entre os agroecossistemas. As formas não lábeis de P incluem o Pi-HCl e P-residual, sendo que os teores de P variaram entre 584 e 670 mg kg⁻¹ de P. De maneira geral, independentemente do agroecossistema pode observar que a maior proporção de P encontra-se na fração não lábil, correspondendo entre 51 e 57% (ver Figura 12). No entanto, entre as formas de P na Figura 12, o agroecossistema de pomar de macieira na linha aumentou o P moderadamente lábil em comparação ao campo nativo, o que pode-se estar associado com os maiores teores de P inorgânico das frações em NaOH 0,1 e 0,5 (ver Tabela 7), sendo justificado pela adubação fosfatada no momento da implantação do pomar. Por outro lado, pode-se constatar que o agroecossistema de florestamento de pinus apresentou variações semelhantes das formas de P com o campo nativo, indicando que o desenvolvimento do pinus não modifica as frações de P principalmente nas formas moderadamente lábeis e indica, ainda, que provavelmente não foi usada adubação fosfatada na implantação da floresta de Pinus.

Figura 12. Percentual da proporção da participação das frações de P lábil, P moderadamente lábil e P não lábil em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.

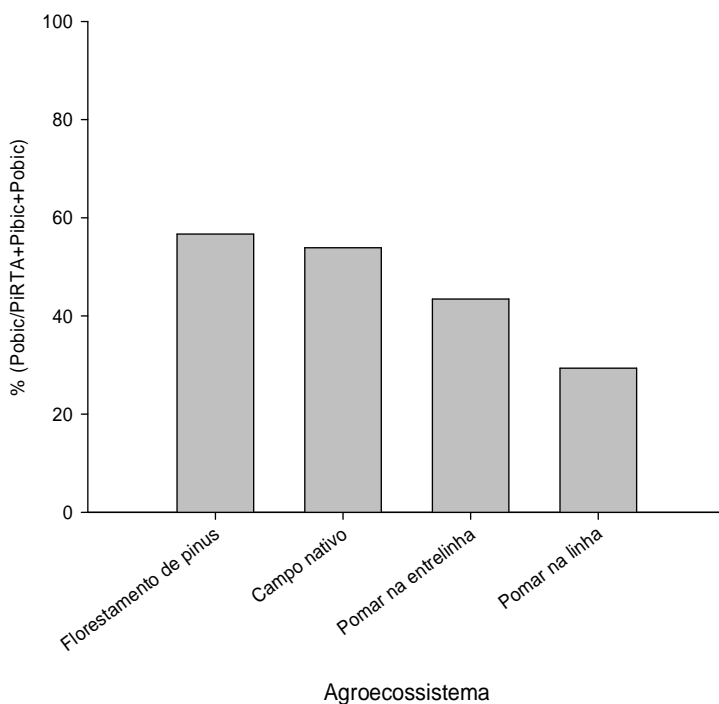


Fonte: produção do próprio autor.

Cross e Schlessinger, (1995) propuseram que a contribuição dos processos biológicos na distribuição do P total do solo pode ser estimada utilizando o P orgânico em NaHCO_3 em relação as formas lábeis de P ($\text{Po-NaHCO}_3/\text{Pi-RTA} + \text{Pi-NaHCO}_3 + \text{Po-NaHCO}_3$). Essa

relação representa um índice da fração de P orgânico que é facilmente mineralizado em processos biológicos. Entre as formas lábeis, a representação da forma orgânica, definida pela percentagem do índice de P orgânico mineralizável variou entre os agroecossistemas, mas diminuiu com o uso do solo no pomar de macieira na linha (ver Figura 13). Assim o percentual de P orgânico mineralizável foi de 57, 54, 44 e 29% para os agroecossistemas de florestamento de pinus, campo nativo, pomar de macieira na entrelinha e pomar de macieira na linha, respectivamente. Isso indica que com a utilização do solo no agroecossistema de pomar de macieira ocorre a mineralização da forma orgânica facilmente disponível na linha de plantio, onde se pode atribuir a importância do P orgânico como fonte de P para as plantas em ambientes que não recebem fertilização fosfatada de manutenção. A mineralização da fração de P orgânico no pomar de macieira na linha é possivelmente devido a menor deposição de resíduo na superfície do solo, o que por consequência a maior mineralização de P.

Figura 13. Percentual de P orgânico mineralizável, obtido pela relação entre a fração P orgânico lábil e as formas lábeis de P em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade em três, agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense. % P orgânico mineralizável = $(P_o \text{ NaHCO}_3 / (P_i \text{ RTA} + P_i \text{ NaHCO}_3 + P_o \text{ NaHCO}_3)) * 100$.



Fonte: produção do próprio autor.

3.5.2 Formas de P por ^{31}P – RMN

A solução extratora para a análise de ^{31}P – RMN é NaOH + EDTA, com a finalidade de promover a extração da fração dos compostos orgânicos. Após a extração o material orgânico fica em suspensão na alíquota extraída, sendo que o processo seguinte é realizado uma filtragem desse sobrenadante e assim se procede com a análise de ^{31}P – RMN. Para a análise de ^{31}P – RMN foram utilizados os extratos de NaOH – EDTA após a filtragem. A Tabela 11 mostra que os teores de Po, que eram em média 37% no solo original, aumentaram para 63% no extrato não filtrado para RMN, mostrando que o extrator de NaOH – EDTA é efetivo em extrair preferencialmente formas orgânicas de P. Após a filtragem da amostra, a concentração de Po aumentou para, em média, 77% do total de P do extrato. Um cuidado que se deve ter na interpretação dos resultados de RMN é que a extração do Po é parcial do solo e, ainda, devido à filtragem do extrato, há perda de compostos fosfatados que não são analisadas pela técnica de RMN. Assim, as análises de ^{31}P – RMN são fidedignas ao extrato de NaOH – EDTA, representando que os teores de cada forma de P encontrada não pode representar os teores verdadeiros do solo. Dessa maneira com a técnica da RMN pode-se presumir a identificação dos principais compostos de Po presentes no solo, no entanto não permite avaliar os teores reais desses compostos no solo.

Tabela 11. Teores de P total do solo, P em extrato de NaOH – EDTA filtrado e não filtrado, em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.

Formas de P	Agroecossistema			
	F	PL	PEL	CN
	----- mg kg ⁻¹ -----			
P inorgânico total ¹	707	751	634	533
P orgânico total ²	327	336	418	401
	----- % -----			
P orgânico	32	31	40	43
	----- mg kg ⁻¹ -----			
	Extrato em NaOH – EDTA não filtrado ³			
P inorgânico	193	250	159	122
P orgânico	269	289	308	352
	----- % -----			
P orgânico	58	54	66	74
	----- mg kg ⁻¹ -----			
	Extrato em NaOH – EDTA Filtrado ⁴			
P inorgânico	49	159	58	52
P orgânico	312	196	265	280
	----- % -----			
P orgânico	87	55	82	84

Fonte: produção do próprio autor. ¹ = teor de P total por Digestão com H₂SO₄ concentrado + H₂O₂ 30% – P orgânico total por ignição. ² = teor de P orgânico total por ignição (Olsen & Sommers, 1982). ³ = teor de Pi e Po sem filtragem do extrato de NaOH – EDTA. ⁴ = teor de Pi e Po após a filtragem do extrato de NaOH – EDTA. F = Florestamento de pinus. PL = Pomar de macieira na linha. PEL = Pomar de macieira na entrelinha. CN = Campo nativo.

Para identificar os compostos detectados por ³¹P – RMN os picos foram interpretados como sugerido pelos autores Turner et al. (2003a); Cade-Menun, (2005) e

Doolette et al. (2009), sendo que os deslocamentos químicos utilizados para identificação dos picos de ressonância são apresentados na Tabela 12.

Os espectros são apresentados na Figura 14, onde foram observados quatro regiões, com picos referentes ao Pi ortofosfato, Po monoésteres, Po diéster e Pi pirofosfato. Os compostos Pi ortofosfato ($\delta \approx 6,2\text{ppm}$), Po diésteres ($\delta \approx -0,3\text{ppm}$) e Pi pirofosfato ($\delta \approx -4,0\text{ppm}$) apresentaram picos bem definidos. No entanto, o grupo dos Po monoésteres apresentaram uma região com vários picos ($\delta \approx 4,0$ a $5,4\text{ppm}$), indicando a presença de mais de um composto deste tipo.

Embora os agroecossistemas se encontrem em região de altitude, a qual promove acúmulo de material orgânico, os fosfonatos e os polifosfatos, que por vezes são identificados nas análises de RMN, não foram encontrados nas amostras das áreas avaliadas. O acúmulo desses compostos (fosfonatos e polifosfatos) ocorrem em ambientes que apresentam altos teores de matéria orgânica e ou onde a atividade microbiana é baixa. Nos solos brasileiros, os compostos fosfonatos e polifosfatos não são facilmente detectados pela RMN, pois devido ao clima, há facilitada biodegradação dos fosfatos orgânicos pelos microrganismos, favorecendo a mineralização do P orgânico. Essa ausência foi constatada por Rheinheimer et al. (2002), Cardoso, (2003) e Gatiboni et al. (2005). Por causa da ausência de fosfonatos e polifosfatos nas amostras avaliadas, aqui os espectros são apresentados com deslocamentos químicos (δ) de 8,0 a -5,0 ppm (ver Figura 14).

Os compostos fosfatados orgânicos monoésteres α – glicerolfosfato e β – glicerolfosfato, o fosfato orgânico diéster (DNA), e os fosfatos inorgânicos ortofosfato e pirofosfato foram identificados em todos os agroecossistemas (ver Tabela 12) Os compostos

glicerolfosfato (α e β) e os fosfatos diéster são definidos como de fácil mineralização, indicando que os solos avaliados possuem P_o lábil, típico de sistemas onde não há acúmulo de matéria orgânica e baixa pressão de mineralização. O fosfato hexafosfato de *myo*-inositol não foi detectado no agroecossistema de campo nativo, e o hexafosfato de *Scyllo*-inositol não foi detectado no agroecossistema de florestamento de pinus (ver Tabela 12). Porém, como esses compostos são estereoisômeros, é correto afirmar que foi detectado fosfato inositol em todos os solos avaliados. O fosfato orgânico monoéster (mononucleotídeos) foi detectado na área de campo nativo. O fosfato orgânico monoéster (glicose-6-fosfato) foi detectado na área de florestamento de pinus (ver Tabela 12).

Tabela 12. Valores dos deslocamentos químicos nos espectros calibrados com ortofosfato a 6,2 ppm e com linha referência de 5 Hz, em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.

Grupos de fosfatos	Agroecossistema			
	F	PL	PEL	CN
	----- δ (ppm) -----			
Ortofosfato (O) ¹	6,20	6,20	6,20	6,20
α-glicerolfosfato (A)	5,20	5,18	5,18	5,17
β-glicerolfosfato (B)	4,82	4,79	4,77	4,74
Hexafosfato <i>Myo</i> -inositol (C)	4,48, 4,55	4,55	4,54	nd
Hexafosfato <i>scyllo</i> -inositol (E)	nd	4,14	4,06	4,06
DNA (D)	-0,37	-0,35	-0,38	-0,36
Pirofosfato (P)	-4,11	-4,06	-4,07	-4,13
Outros monoésteres (F)	5,53	nd	5,62	5,58
Mononucleotídeos (G)	nd	nd	Nd	4,36
Glicose-6-fosfato (H)	5,43	nd	Nd	nd

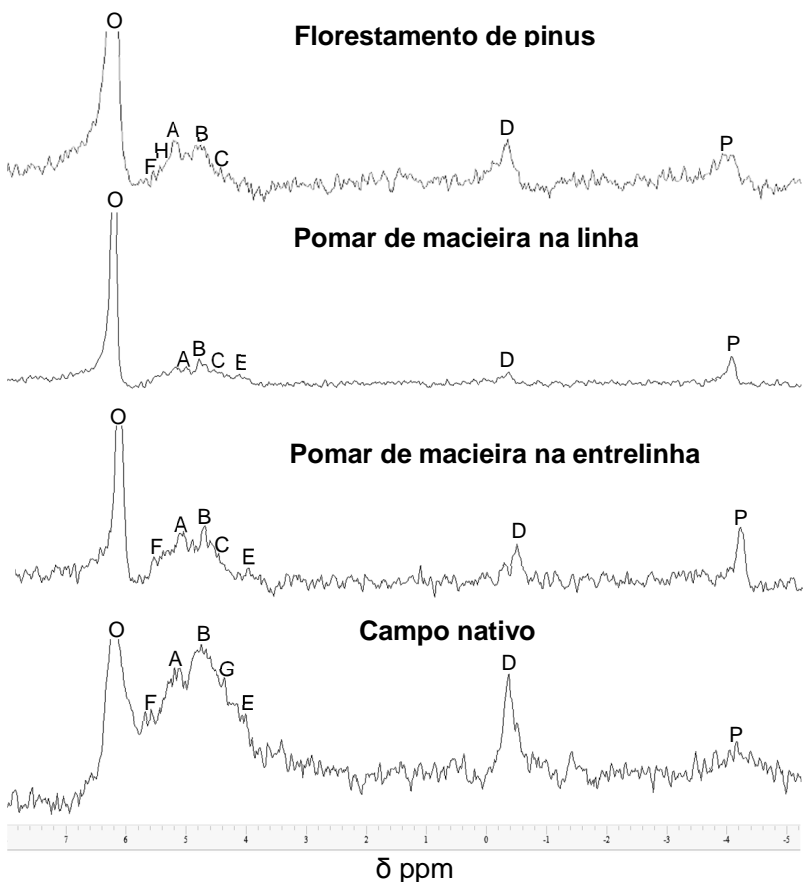
Fonte: produção do próprio autor. ¹ = letra entre parênteses indicam os picos de RMN na Figura 14; nd = não detectado. F = Florestamento de pinus. PL = Pomar de macieira na linha. PEL = Pomar de macieira na entrelinha. CN = Campo nativo.

Nos espectros apresentados na Figura 14 observam-se para os agroecossistemas de pomar de macieira na linha e na entrelinha as menores intensidades de pico (D), o qual é caracterizado como um fosfato diéster (DNA). Esse comportamento pode ser verificado na Tabela 13. A menor estabilidade desse composto de P no solo constitui em menor participação da fração orgânica lábil no solo. Essa menor intensidade do pico de DNA nesses espectros dos pomares indica a menor participação da fração orgânica lábil no solo, qual é condizente com os teores de P orgânico lábil

determinado pelo fracionamento químico para esses agroecossistemas (ver Tabela 8). Dessa maneira a identificação desse composto de P no solo pela RMN condiz com a quantificação pelo fracionamento químico. Da mesma maneira, pode-se constatar que o composto inorgânico de pirofosfato (P) representou nos espectros dos agroecossistemas de pomar de macieira na linha e na entrelinha maior intensidade em comparação aos agroecossistemas de campo nativo e florestamento de pinus, o que pode ser confirmado na Tabela 13. Esse comportamento é condizente com os maiores teores de P inorgânico encontrado nas áreas dos pomares de macieira, indicando que a análise de RMN e o fracionamento químico estabelecem relações semelhantes que definem com maior detalhe as formas de P no solo.

O agroecossistema de campo nativo apresentou (ver Figura 14) maior região de monoésteres em comparação aos demais agroecossistemas, no qual correspondeu em 62% dos compostos fosfatados pela RMN (ver Tabela 13), onde representou em maior intensidade de compostos orgânicos (ver Tabela 12). Isso pode indicar que ambientes onde o solo não é perturbado se acumula maior teor de matéria orgânica (ver Tabela 6), conseqüentemente pode contribuir para a maior diversidade e quantidade de compostos orgânicos fosfatados. Essa contribuição da fração orgânica condiz com o observado no agroecossistema de campo nativo, o qual apresentou a maior participação da fração de Po total entre os agroecossistemas com 43% em relação ao P total do solo (ver Tabela 10).

Figura 14. Espectros de ressonância magnética nuclear de ^{31}P de extratos de solução de NaOH-EDTA em agroecossistemas de florestamento de pinus, pomar de macieira na linha, pomar de macieira na entrelinha e campo nativo, coletados da camada de 0 – 10 cm de profundidade. Os espectros foram plotados com linha de referência de 5 Hz e o sinal do ortofosfato ajustado para 6,2 ppm. As letras indicam os grupos de fosfatos presentes na Tabela 12.



Fonte: produção do próprio autor.

Alguns autores observaram que o extrator de NaOH – EDTA removeu 16, 98 e 45% do P total do solo, (GATIBONI, 2003; MCDOWELL, et al. 2007; TURNER, et al. 2011), respectivamente. No entanto, essa variação pode ser determinada por muitos fatores, incluindo o tamanho de agregados (MCDOWELL et al. 2007).

Os compostos fosfatados mais comuns encontrados nos solos são as formas inorgânicas de ortofosfato e pirofosfato e as formas orgânicas de monoésteres, diésteres, fosfonato e polifosfato (NEWMAN & TATE, 1980). Na Tabela 13 os teores dos compostos fosfatados foram quantificados pela combinação do percentual da área espectral ocupada pela classe do composto e a concentração de P determinado no extrato de NaOH – EDTA. Nos agroecossistemas os compostos fosfatados detectados por ^{31}P – RMN com maior concentração foram o Pi ortofosfato e o Po monoéster, os quais entre os agroecossistemas representaram 48 e 36% das formas de P extraídas por NaOH – EDTA, respectivamente. Por outro lado, o Pi pirofosfato e o Po diésteres representaram 7 e 8% do P extraído por NaOH – EDTA, respectivamente (ver Tabela 13), concordando com os valores encontrados por CHAPUIS-LARDY et al. (2001) e CARDOSO et al. (2003). Esses resultados são condizentes com os trabalhos de RMN, que mostram as maiores concentrações nos solos dos compostos de fosfatos inorgânicos ortofosfato e fosfatos orgânicos monoésteres. Os fosfatos orgânicos monoésteres estão associados diretamente ao intemperismo do solo, onde são influenciados pela formação de complexos insolúveis com os óxidos de ferro e de alumínio no solo. Sendo assim, os fosfatos monoésteres são menos suscetíveis à degradação e são compostos caracterizados como formas moderadamente lábeis. Entretanto, os fosfatos

diésteres e pirofosfatos são encontrados em menor quantidade devido a sua maior instabilidade (Guggenberger et al. 1996), caracterizando dessa maneira como formas mais lábeis. Os fosfatos diésteres são relacionados com o tipo de vegetação e ao manejo do solo, sendo que o aumento dessas formas depende da entrada de material vegetal que através da mineralização pela atividade microbiana promove o aumento de Pi para o ambiente. Essa situação pode ser constatada no agroecossistema de pomar de macieira na linha, o qual tem baixo aporte de material vegetal e conseqüentemente os teores de fosfato diéster foram os menores entre os agroecossistemas, correspondendo em 2,9% do P extraído por NaOH – EDTA (ver Tabela 13). A análise de RMN mostrou que o Pi ortofosfato apresentou o maior percentual nos agroecossistemas de florestamento de pinus e pomar de macieira na linha com 66 e 67% do P extraído por NaOH – EDTA, respectivamente. No entanto, o menor percentual de Pi ortofosfato foi na área de campo nativo que apresentou 20% do P extraído por NaOH – EDTA. O P inorgânico (soma de ortofosfato e pirofosfato) variou entre 82,2 e 264 mg kg⁻¹ de P, que representaram entre 25 e 74% do P extraído por NaOH – EDTA. Os maiores teores de Pi foram na área de florestamento de pinus e pomar de macieira na linha com 72 e 74% do P extraído, respectivamente (ver Tabela 13). Nesses ambientes a deposição de acículas na superfície do solo da área de florestamento de pinus e a senescência das folhas sobre a superfície do solo na área do pomar de macieira na linha, levam a inferir que a decomposição desses materiais orgânicos tenham refletido na formação dos maiores teores de Pi a partir do processo de mineralização do Po contido no material orgânico. Esses maiores teores de Pi nos agroecossistemas de

florestamento de pinus e pomar de macieira pela análise de RMN, corroboram com os resultados obtidos pelo fracionamento químico de P, onde também mostraram os maiores teores de P provenientes das frações inorgânicas (ver Tabela 7).

Para os fosfatos monoésteres, o agroecossistema de campo nativo obteve a maior concentração de P, correspondendo a 62% do P extraído por NaOH – EDTA. Na fração de P orgânico (monoéster + diéster) o ecossistema de campo nativo apresentou o maior percentual com 75% do P extraído, o qual pode ser relacionado pelo maior teor de matéria orgânica em comparação aos demais agroecossistemas (ver Tabela 6). Turner et al. (2011) encontraram em solos de florestas que o acúmulo de P orgânico ocorreu principalmente como fosfatos monoésteres (entre 68 e 96% do P orgânico total). Os compostos fosfatados α e β -glicerolfosfatos foram os que apresentaram o maior percentual entre os fosfatos monoésteres nos agroecossistemas avaliados, sendo que o agroecossistema de campo nativo apresentou para o α e β -glicerolfosfatos a maior proporção (14 e 17% do P extraído por NaOH – EDTA), respectivamente. Segundo Doolette et al. (2009) esses compostos são originados da hidrólise dos fosfolipídios e podem ser degradados no solo pela biomassa microbiana, indicando que a maior parte do Po nesses ecossistemas é biodegradável, diferente do encontrado para solos mais imteperizados do sul do Brasil, onde o Po encontrava-se principalmente como inositol-fosfato (RHEINHEIMER et al. 2002; GATIBONI et al. 2005)

Tabela 13. Teores de P extraído por NaOH + EDTA identificados por ^{31}P – RMN, P orgânico total extraído por ignição, P total extraído por digestão ácida em amostras de Cambissolo Húmico coletadas na camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.

Composto fosfatado	Agroecossistema			
	F		PL	
	mg kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	%
Ortofosfato	236,1	(65,6)	238,8	(67,3)
Pirofosfatos	23,8	(6,6)	25,1	(7,1)
Fosfatos diésteres DNA	33,4	(9,3)	10,5	(2,9)
Fosfatos monoésteres				
α-glicerolfosfato	21,4	(5,9)	22,1	(6,2)
β-glicerolfosfato	18,4	(5,1)	29,3	(8,3)
Myo-inositol hexafosfato	13,3	(3,7)	17,8	(5,0)
Scyllo-inositol hexafosfato	0,0	(0,0)	11,5	(3,2)
Mononucleotídeos	0,0	(0,0)	0,0	(0,0)
Glicose - 6 - fosfato	7,6	(2,1)	0,0	(0,0)
Outros monoésteres	6,1	(1,7)	0,0	(0,0)
Total monoésteres	66,8	(18,5)	80,7	(22,7)

Fonte: produção do próprio autor. () = valores entre parênteses são a proporção (%) de P em cada forma analisado por NaOH-EDTA. F = Florestamento de pinus. PL = Pomar de macieira na linha.

Tabela 13. Continua.

Composto fosfatado	Agroecossistema			
	PEL		CN	
	mg kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	%
Ortofosfato	132,1	(40,9)	65,8	(19,8)
Pirofosfatos	28,1	(8,7)	16,4	(5,0)
Fosfatos diésteres DNA	28,1	(8,7)	42,8	(12,9)
Fosfatos monoésteres				
α-glicerolfosfato	34,7	(10,7)	47,9	(14,4)
β-glicerolfosfato	43,8	(13,6)	56,8	(17,1)
Myo-inositol hexafosfato	22,7	(7,0)	0,0	(0,0)
Scyllo-inositol hexafosfato	12,3	(3,8)	28,9	(8,7)
Mononucleotídeos	0,0	(0,0)	42,5	(12,8)
Glicose - 6 - fosfato	0,0	(0,0)	0,0	(0,0)
Outros monoesteres	21,3	(6,6)	31,1	(9,4)
Total monoésteres	134,8	(41,7)	207,2	(62,4)

Fonte: produção do próprio autor. () = valores entre parênteses são a proporção (%) de P em cada forma analisado por NaOH-EDTA. PEL = Pomar de macieira na entrelinha. CN = Campo nativo.

3.5.3 Relações entre as formas inorgânicas e orgânicas de P

As formas de P extraídas por NaOH 0,1 no fracionamento químico apresentaram entre os agroecossistemas relação de Pi e Po de 0,3, mostrando que a fração NaOH 0,1 continha mais formas orgânicas em relação a formas inorgânicas (ver Tabela 7). Já as formas de P extraídas por NaOH 0,5 apresentaram uma relação média de Pi e Po de 3,0, indicando que os teores das formas inorgânicas foram maiores que as formas orgânicas. Por outro lado, para a análise de RMN usa-se a extração com NaOH+EDTA em uma amostra isolada e essa extração é conhecidamente efetiva na extração de substâncias húmicas (Stevenson, 1994). Com isso é possível inferir que essa extração única esteja acessando, ao mesmo tempo, parte de todas as formas

de Po do fracionamento (Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1 e Po-NaOH 0,5).

Na Tabela 14 são apresentados os percentuais de P inorgânico e orgânico estimados pelo fracionamento químico, métodos químicos e ³¹P – RMN, os quais foram definidos em relação ao P total do fracionamento, P total por digestão ácida e P total extraído por NaOH – EDTA, respectivamente. Quando se verificou as proporções das frações nos agroecossistemas, o percentual de Pi e Po extraídos pelo fracionamento químico foi em média de 72 e 28%, respectivamente (ver Tabela 14). Para as frações Pi e Po extraídos por digestão ácida e ignição o percentual foi em média de 64 e 36%, respectivamente, mostrando aderência entre os resultados do fracionamento e as análises de Pi e Po totais do solo. No entanto, quando se determinou as proporções das frações de Pi e Po extraídos por NaOH – EDTA das amostras filtradas, o percentual foi em média de 55 e 45%, respectivamente. Isso indica que a extração com NaOH – EDTA é preferencial para formas orgânicas e, por isso, a interpretação dos espectros de RMN devem ser qualitativos e não quantitativos, já que irão distorcer a quantidade de cada composto.

Tabela 14. Percentual de P inorgânico e orgânico estimados pelo fracionamento químico, métodos químicos e ^{31}P – RMN, em amostras de Cambissolo Húmico coletadas da camada de 0 – 10 cm de profundidade, em três agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.

Agroecossistem a	Fracionamento químico		Métodos químicos		RMN	
	Pi ¹	Po ²	Pi ³	Po ³	Pi ₄	Po ₄
	-----%-----					
F	72	28	68	32	72	28
PL	76	24	69	31	74	26
PEL	66	34	60	40	50	50
CN	73	27	57	43	25	75

Fonte: produção do próprio autor. ¹ = somatório Pi do fracionamento. ² = somatório Po do fracionamento. ³ = Pi por digestão com H_2SO_4 concentrado + H_2O_2 30% e o Po por ignição (Olsen & Sommers, 1982). ⁴ = Pi e Po após a filtragem do extrato de NaOH – EDTA. F = Florestamento de pinus. PL = Pomar de macieira na linha. PEL = Pomar de macieira na entrelinha. CN = Campo nativo.

Pela análise de RMN observa-se que em ambientes naturais como o campo nativo existe um equilíbrio entre as formas nos compostos de P (ver Tabela 13). No entanto, após 18 anos da adição da adubação mineral fosfatada realizada no momento da implantação do pomar não foi suficiente para a manutenção da disponibilidade de P. Na análise de RMN a conversão da área de campo nativo em pomar de macieira na linha se verifica redução dos compostos orgânicos fosfatados diésteres e monoésteres, os quais são caracterizados como formas lábeis e moderadamente lábeis, respectivamente. Isso indica que a conversão do uso do solo em áreas cultivadas provoca

modificação das formas de P. Distintamente, quando da utilização da área de pomar, porém na linha de cultivo, se constata que existe aumento dos compostos inorgânicos e redução dos compostos orgânicos. Esse comportamento condiz com os resultados do fracionamento químico onde houve aumento dos teores de P das formas inorgânicas e decréscimo dos teores de P das formas orgânicas com a conversão da área de campo nativo em pomar de macieira (na linha de plantio). Com a utilização do solo com pomares de macieira, observa-se que os mononucleotídeos (fosfato monoéster lábil) não são detectados, o que infere que a interferência em ambientes naturais promove a instabilidade desses compostos.

Na conversão do uso do solo de campo nativo em florestamento de pinus observa-se a modificação das formas de P, sendo que pela análise de RMN os teores de P inorgânico composto pelo ortofosfatos aumentaram com o uso do solo pela floresta plantada. Esse comportamento é verificado pela análise do fracionamento químico, com aumento das formas inorgânicas quando da substituição do campo nativo pelo florestamento de pinus. Para as formas orgânicas a conversão da área de campo nativo pelo florestamento de pinus se verifica pela a análise de RMN uma redução dos compostos orgânicos fosfatados monoésteres, os quais constituem como formas moderadamente lábeis. Esse comportamento é identificado no fracionamento químico somente na fração de NaOH 0,5, sendo que para a fração em NaOH 0,1 o comportamento se distingue do observado anteriormente.

3.6 CONCLUSÕES

A conversão de ecossistemas naturais em áreas cultivadas com pinus e macieiras altera a distribuição das formas de P no solo determinados pelo fracionamento químico, principalmente em sistemas de cultivo contínuo sem a adição de fertilizantes fosfatados onde as frações orgânicas reduzem e as frações inorgânicas aumentam.

Com a análise de RMN as formas de P são condizentes com a análise do fracionamento químico, onde os compostos inorgânicos fosfatados ortofosfato e pirofosfato aumentam e os compostos fosfatados monoésteres e diésteres diminuem com a conversão do campo nativo em áreas cultivadas com plantas perenes como pinus e macieiras.

4 FORMAS DE P EM SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS COM APLICAÇÕES DE DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS POR LONGO PERÍODO

4.1 INTRODUÇÃO

A atividade da produção de suínos no Brasil atingiu 38,8 milhões de cabeças no ano de 2012, efetivando o país com o terceiro maior rebanho de suínos do mundo (LIVESTOCK, 2014). A região Sul do Brasil destaca-se, sendo responsável por 49,5% do rebanho de suínos brasileiro (IBGE, 2012).

No início da década dos anos 1970 a suinocultura implantada nas propriedades rurais do Estado de Santa Catarina apresentava nas áreas dos solos agricultáveis o suporte para deposição dos dejetos oriundos dessa atividade, sendo que essas propriedades rurais na maioria estão localizadas em áreas pequenas e com topografia acidentada. Santa Catarina (SC) aumentou a produção de suínos ao longo dos anos e isso colocou o Estado como o maior produtor do país (IBGE, 2012). O Estado de SC detém aproximadamente 7,48 milhões de cabeças (Epagri/Cepa, 2013), o que representa 19,3% do rebanho de suínos do país, estando o rebanho concentrado nas mesorregiões do Oeste Catarinense e Sul Catarinense com 73% e 10%, respectivamente, da produção estadual.

O aumento da produção de suínos acarretou mudanças consideráveis das práticas de produção das décadas passadas, estabelecendo um sistema produtivo de criação intensiva (alta concentração de animais por área) realizada nas propriedades rurais do Estado de SC, produzindo um volume expressivo de dejetos líquidos de suínos, o qual é aplicado continuamente nas mesmas áreas dos solos próximas à unidade de

produção. Considerando que um suíno adulto produz 0,27 m³ de dejetos/mês (Oliveira, 1993), com um rebanho de 7,48 milhões, diariamente é produzido o equivalente 67.500 m³ de dejetos líquidos de suínos no Estado de SC.

Constituído de fezes, urina, resíduos de ração e água, o dejetos é um resíduo com potencial fertilizante, desde que atendidos as recomendações da quantidade necessária conforme a concentração dos nutrientes (CQFS – RS/SC, 2004) e respeitando as quantidades limites previstas na legislação para evitar a poluição ambiental. A utilização de dejetos líquidos de suínos é uma fonte de nutrientes na qual a aplicação na superfície do solo ao longo dos anos promove aumento na fertilidade do solo (Scherer et al. 2010), porém a concentração de nutrientes no dejetos depende da fonte, condições ambientais, alimentação dos animais, método de armazenamento e duração e estado do dejetos (forma sólida ou líquida) (BARNETT, 1994; KLEINMAN et al. 2005). Entretanto, o volume de dejetos líquidos de suínos que é frequentemente aplicado nos solos, na maioria das situações, está em quantidades excessivas em relação à quantidade máxima permitida pela legislação estadual de 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (FATMA, 2004) e, ainda, são aplicados sem observação de boas práticas de manejo do solo para evitar problemas de transferência de dejetos para os mananciais. Essas intermitentes aplicações de dejetos líquidos de suínos ao longo dos anos promove acúmulo de nutrientes que podem superar a capacidade de adsorção do solo e as necessidades das culturas (BASSO, 2003; GATIBONI et al. 2008; CERETTA et al. 2010; SCHERER et al. 2010; GUARDINI et al. 2012a; GUARDINI et al. 2012b).

No Estado de SC as regiões produtoras de suínos localizadas nas regiões Oeste e Sul, apresentam solos

com diferentes texturas, argiloso e arenoso respectivamente, acarretando em diferentes taxas de acúmulo de P disponível com a aplicação de dejetos. Esse acúmulo de P na superfície do solo é relatado em vários trabalhos, principalmente quando o solo é manejado sob o sistema de plantio direto e, portanto, sem revolvimento (CERETTA et al. 2005; GATIBONI et al. 2008; GIROTTO et al. 2010). No sistema de plantio direto com a adição de DLS as formas de P são preferencialmente acumuladas em formas inorgânicas como identificado por (GATIBONI et al. 2008; CERETTA et al. 2010; GUARDINI et al. 2012a; PAGLIARI et al. 2012). A migração do P no perfil do solo pode ser estabelecida pela aplicação de DLS, sendo definido pela afinidade do P com a quantidade de argilas e óxidos, no qual quantidades expressivas de P podem ser adsorvidas com baixa energia de ligação, o que pode acarretar na percolação de P no perfil. Assim, solos com altos teores de argila e óxidos, a mobilidade de P é reduzida devido a alta adsorção aos colóides do solo.

No solo o P pode estar adsorvido em formas inorgânicas e orgânicas, dependendo da natureza do composto a que está ligado (Gatiboni, 2003) e os teores em cada forma podem variar em função das características do solo e processos ocorrentes, como a absorção pelas plantas, ciclagem de resíduos vegetais ou animais, imobilização e a adsorção de P pelos óxidos de ferro e alumínio (NOVAIS & SMYTH, 1999).

As formas de P do solo podem ser classificadas de acordo com a energia que são adsorvidas aos colóides dos solos. Isso representa a separação em formas lábil, moderadamente lábil e não lábil.

Assim, em solos com grande acúmulo de P pela adição continuada de dejetos, é possível que a análise dos teores lábeis de P não seja adequada para avaliar o

impacto dos dejetos sobre esse nutriente no solo. Dessa maneira, o uso de ferramentas capazes de quantificar as diferentes formas de P do solo, além das lábeis, pode informar melhor sobre o grau de saturação do solo com P.

Com isso, o uso de métodos como o fracionamento químico de P possibilitam a quantificação de formas de diferentes labilidades.

4.2 REVISÃO DE LITERATURA

Uma das abordagens para caracterizar os solos com adição de elevadas doses de P tem sido o estudo sobre as frações e acúmulo de P e, para isso, é comum o uso de técnicas de fracionamento químico. Essas técnicas usam extratores químicos com capacidade crescente de extração de P aplicados sequencialmente em uma mesma amostra, para remoção progressiva das frações mais disponíveis até as recalcitrantes de P inorgânico e orgânico. Baseado no fracionamento químico de P, alguns estudos tem demonstrado que a aplicação de dejetos ao solo resultou em acúmulo mais pronunciado de P nas frações inorgânicas (GATIBONI et al. 2008; CERETTA et al. 2010). Segundo Pagliari et al. (2012), trabalhando com 42 amostras de dejetos de vários animais e avaliando as formas inorgânicas e orgânicas de P, relataram que os dejetos dos animais não ruminantes apresentaram três vezes mais P do que os animais ruminantes, sendo que o dejetos líquidos de suínos tiveram duas vezes mais P total do que os dejetos sólidos. Para esses autores as frações de P inorgânico foram de três a cinco vezes maiores nos animais não ruminantes em relação aos animais ruminantes, o que justifica o frequente maior acúmulo de

P em formas inorgânicas no solo quando do uso de dejetos animais não ruminantes.

Entretanto, quando a fonte de fertilizante é de origem orgânica e o P se encontra nessa forma, o acúmulo de P no solo ocorre primeiramente em frações orgânicas que somente migram para frações inorgânicas após mineralização. Dessa maneira a distribuição das frações de P inorgânico e orgânico depende do tipo de composto e dejeito (SHARPLEY & MOYER, 2000).

Para Ceretta et al. (2003), a utilização de dejetos líquidos de suínos nas doses de aproximadamente 140 e 280 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ durante um período de aplicação de 48 meses sob pastagem natural em um Alissolo Crômico com 150 g kg⁻¹ de argila na camada superficial incrementou a quantidade de P disponível de 25 mg kg⁻¹ (testemunha) para 1203 e 1664 mg kg⁻¹, respectivamente. Neste estudo os teores atingidos de P no solo foram extremamente altos, evidenciando que a aplicação excessiva de esterco pode representar um potencial poluente do P no ambiente. Scherer et al. (2010), o uso de dejetos líquidos de suínos em áreas com cultivo de culturas anuais sob o sistema de plantio direto, e com a aplicação de 30 a 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ por um período entre 20 a 25 anos na camada de 0 - 10 cm em Latossolo, Cambissolo e Neossolo, os teores de P disponíveis no solo de 46; 54 e 63 mg kg⁻¹, respectivamente, ficando bem acima dos níveis considerados muito alto pela CQFS – RS/SC (2004), que são de 18 mg kg⁻¹ para o Latossolo e Cambissolo e 24 mg kg⁻¹ para o Neossolo.

A grande quantidade de dejetos líquidos aplicado no solo pode saturá-lo e ultrapassar a sua capacidade de adsorção de P (GUARDINI et al. 2012a; GUARDINI et al. 2012b). A capacidade de adsorção de P é influenciada principalmente pela textura do solo, sendo que em solos

argilosos isso ocorre mais rápido que em arenosos. O'Halloran (1993) trabalhou em um solo argiloso e um solo arenoso com aplicações de fertilizantes inorgânicos e orgânicos e verificou que o tratamento com esterco líquidos de bovinos, em sistema de plantio direto, houve um aumento significativo nas formas de Po no solo arenoso, no entanto, na camada de 0 – 10 cm os teores de Po foram maiores no solo argiloso em comparação ao solo arenoso, sendo de 565 e 324 mg kg⁻¹, respectivamente.

Em trabalhos na região central do Rio Grande do Sul a utilização de dejetos líquidos de suínos na superfície dos solos arenosos, sob sistema de plantio direto, tem sido observada que há grande acúmulo de P disponível com adições frequentes de dejetos (Berwanger et al. 2008; Ceretta et al. 2010; Lorenzi et al. 2013), no qual o grande reflexo desse acúmulo de P disponível é provavelmente devido a textura arenosa do solo que impede que ocorram grandes acúmulos em frações de maior recalitrância.

No solo, a mobilidade P esta relacionada com as diferentes energias de ligação na fase sólida, sendo controlada por fatores relacionados a características e quantidade dos colóides do solo. Assim a movimentação de P no solo é lenta devido principalmente à adsorção aos colóides da fração argila e como precipitados de oxihidróxidos de ferro e alumínio, formando compostos com diferentes energias de ligação, dependendo do tipo de sítio adsorvente (Parfitt, 1978) e do grau de saturação dos sítios do solo (RHEINHEIMER et al. 2003; BARROW, 2008). Dessa maneira, esse comportamento do P no solo confere alta estabilidade na fase sólida (GATIBONI, 2003). A alta adsorção e precipitação de P no solo tem sido demonstrada em função do teor de argila e a sua constituição mineralógica, onde justifica a

afinidade de P com a fração adsorvente. Assim em solos com textura argilosa e com alto grau de intemperização, a adsorção de P é maior, e conseqüentemente a movimentação de P no perfil é menor. No entanto, a movimentação no perfil dos compostos orgânicos no solo pela adição de grande quantidade de dejetos de suínos pode carregar o P inorgânico e orgânico para as camadas inferiores da superfície dos solos, em razão da saturação dos sítios de adsorção de P e ultrapassar a sua capacidade de adsorção de P (GUARDINI et al. 2012a; GUARDINI et al. 2012b). Assim trabalhos como de (Royer et al. 2003; Berwanger et al. 2008; Gatiboni et al. 2008; Ceretta et al. 2010; Scherer et al. 2010; Lorenzi et al. 2013) que utilizaram solos arenosos com aplicações de dejetos líquidos de suínos chegaram a aumentos nos teores de P disponível no solo até as profundidades de 20, 15, 15, 25, 50 e 60 cm, respectivamente. Da mesma forma, nos trabalhos de Hountin et al. (2000) e Guardini, (2012b) em solo arenoso com aplicação de doses de dejetos de suínos encontraram acúmulo das frações inorgânicas lábeis de P pelo método de extração sequencial de Hedley et al. (1982) até a profundidade de 90 e 30 cm, respectivamente. Já para solos argilosos, como nos trabalhos de Barilli, (2005); Scherer et al. (2007); Scherer et al. (2010); Cassol et al. (2011); Veiga et al. (2012) com aplicações de doses de dejetos líquidos de suínos na superfície do solo, conferiram que houve efeito da aplicação das doses de dejetos nos teores de P disponíveis na camada até a profundidade de 5, 10, 30, 31 e 10 cm, respectivamente.

Embora o P seja considerado imóvel no solo, os trabalhos apresentados relatam a preocupação com os teores de P nos dejetos em áreas com aplicações sucessivas por longo período, onde a adição de doses

superiores ao nutriente requerido pelas plantas pode acumular-se no solo a níveis de causarem potencial de poluição ambiental.

As formas de P podem ser interpretadas de acordo com a energia de ligação com que são adsorvidas aos colóides do solo, sendo classificadas como P lábil, moderadamente lábil e P não lábil. A forma lábil constitui o P disponível para absorção pelas plantas e a qual os extratores químicos podem quantificar sua disponibilidade. Essa fração corresponde o somatório das frações de P_i RTA, P_i e P_o NaHCO_3 . A fração de P moderadamente lábil constitui as formas de P adsorvidas aos constituintes da fração mineral do solo, e são determinadas pelo somatório das frações de P_i e P_o NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e P_i e P_o NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. A forma não lábil se constitui na forma de P indisponível as plantas e que se encontra em parte contida nos fosfatos de Ca e fortemente adsorvido aos colóides do solo e são determinadas pelo somatório das frações de P_i HCl 1 mol L^{-1} e P_i , P_o residual também conhecida como forma recalcitrante. Gatiboni et al. (2008) trabalhando em um solo com textura arenosa e com aplicações de dejetos líquidos de suínos na dose de $280 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ durante 48 meses, verificaram que em média na camada até 10 cm de profundidade as frações de P lábil, P moderadamente lábil e P não lábil foram 1.542, 499 e 490% maior em relação a testemunha, respectivamente. Da mesma forma Ceretta et al. (2010), trabalhando em um Argissolo com textura arenosa com aplicações de dejetos líquidos de suínos na dose de aproximadamente $184 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ durante um período de aplicação de 94 meses em sistema de plantio direto, constataram na camada até 10 cm de profundidade apresentaram nas frações de P lábil, P moderadamente lábil e P não lábil acréscimos de 1.676, 299 e 118% em relação a

testemunha, respectivamente. Nesses trabalhos com aplicações de dejetos líquidos de suínos todas as frações de P foram acumuladas no solo, no entanto, ressalta-se que em solos com textura arenosa devido a pequenos teores de óxidos de ferro e alumínio nos colóides do solo, a fração de P com maior percentual acumulado foram em formas predominantemente lábeis. Guardini et al. (2012a) observaram que em Argissolo com aplicações de dejetos líquidos de suínos na dose de aproximadamente $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ durante um período de aplicação de 86 meses que as frações de P lábil, P moderadamente lábil e P não lábil na camada até 10 cm de profundidade em média foram 564, 192 e 122% em relação a testemunha, respectivamente. Esse resultado condiz com o solo analisado, sendo que as características de solos arenosos apresentam baixos teores de argila e oxihidróxidos de ferro e alumínio, resultando em poucos sítios de adsorção de P. Da mesma maneira, a aplicação de dejetos de suínos por longo período pode resultar na saturação de parte dos sítios de adsorção e, conseqüentemente parte do P é adsorvido em formas de menor energia de ligação. Distintamente, Costa (2011) observou que aplicações de dejetos líquidos de suínos na dose de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ durante um período de aplicação de 104 meses, em um Latossolo, causaram acúmulo das frações de P lábil, P moderadamente lábil e P não lábil na camada até 10 cm de profundidade, em média de 682, 373 e 101% em relação a testemunha, respectivamente. Isso corresponde às características de solos argilosos, em função do maior teor de argila e oxihidróxidos de ferro e alumínio, que podem adsorver P em formas de labilidade intermediária. A condição dos solos argilosos é que são capazes de um maior acúmulo P em formas moderadamente lábeis, o que pode acarretar num

suporte maior da aplicação de dejetos líquidos de suínos em comparação aos solos arenosos.

Pelo exposto, nos agroecossistemas da região Oeste e Sul do Estado de SC, existem solos com diferentes classes texturais, os quais podem apresentar diferente capacidade sobre a distribuição das formas de acumulação de P em solos que receberam aplicações sucessivas de dejetos de animais durante um longo período. A avaliação apenas dos teores de P disponíveis não é uma boa ferramenta para diagnosticar o estado de saturação do solo com P. A avaliação das formas de P por técnicas de fracionamento químico de P em solos com texturas distintas, onde foram aplicadas sucessivas doses de dejetos líquidos de suínos, possibilitaria um diagnóstico melhor das modificações da dinâmica do P no solo com o uso de dejetos de suínos por longo prazo.

4.3 HIPÓTESES E OBJETIVO

4.3.1 Hipóteses

A textura do solo afeta a distribuição das formas inorgânicas de P, mas não alteram as formas orgânicas do elemento em solos com aplicações de dejetos líquidos de suínos.

Os teores de P lábil e moderadamente lábil são variáveis em função da classe textural dos solos.

4.3.2 Objetivo

O objetivo é avaliar as formas de P acumuladas em solos com diferentes texturas, submetidos a aplicações de dejetos líquidos de suínos em sistema de plantio direto, em solos de regiões suinícolas do estado de SC.

4.4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.4.1 Descrição do local e caracterização do solo

Para este trabalho foram utilizadas amostras de solos distintos coletados em dois experimentos de longa duração à campo com histórico de adição de dejetos líquidos de suínos (DLS) em duas principais regiões do Estado de SC: Na região Meio-Oeste do Estado, no município de Campos Novos, com altitude de 908 m, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2013). Na região Sul do Estado de SC, no município de Braço do Norte, com altitude de 300 m, em solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2013).

4.4.2 Amostragem dos solos

Nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte foram coletadas amostras deformadas de solo na camada superficial de (0 – 10 cm) e subsuperficial (10 – 20 cm) de profundidade, com quatro repetições em áreas com e sem aplicação de DLS. As amostras foram coletadas em 2011 após 120 e 108 meses de aplicação dos DLS no Latossolo e Argissolo, respectivamente. As amostras foram condicionadas em caixas e transportadas até o laboratório de Química e Fertilidade do Solo do CAV.

4.4.3 Características dos locais amostrados

No município de Campos Novos foi utilizado um experimento de longo prazo localizado nas coordenadas 27°23'33"S e 51°21'48"W. Apresentando clima subtropical com verões brandos e invernos rigorosos

(Cfb), segundo a classificação de Köppen-Geiger (Peel et al. 2007), com chuvas bem distribuídas durante o ano. As médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.480 mm e 16 °C, respectivamente. O material de origem do solo é o basalto. Na Tabela 15 são apresentados os atributos químicos do solo no ano de instalação do experimento (2001), sabendo-se que o solo era anteriormente utilizado com lavoura sob sistema de plantio direto, tendo recebido correção prévia da acidez e adubações a cada cultivo.

Tabela 15. Atributos da camada de 0 – 20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico no ano de instalação do experimento a campo. Médias de quatro amostras compostas de 10 sub-amostras. Campos Novos/SC, 2001.

Camada	pH H ₂ O*	Índice SMP*	Al*	Ca*	Mg*	P*	K*	M.O.*
(cm)	(1:1)		----	cmol _c kg ⁻¹	-----	-mg kg ⁻¹ -	g kg ⁻¹	
0 – 20	6,1	6,0	<0,01	8,2	4,6	6,4	67	43

Fonte: Costa (2011) *Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995); M.O: Matéria orgânica.

O experimento foi implantado em novembro de 2001 e foram aplicados anualmente na superfície do solo tratamentos compostos de doses crescentes de DLS, adubos solúveis e a combinação desses fertilizantes. Para o presente estudo, as coletas das amostras de solo foram realizadas no tratamento com dose de 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLS e o local sem aplicação de DLS (testemunha), em cultivos de sucessão aveia-milho com sistema de plantio direto. As quantidades totais dos macronutrientes provenientes dos dejetos aplicado ao solo durante 10 anos do experimento foram de 1.700;

710 e 773 kg ha⁻¹, para N; P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Para o rendimento da produção de grãos da cultura de milho durante 10 anos de experimento na dose de 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLS e o local sem aplicação de DLS foram em média de 7.258 e 3.236 kg ha⁻¹, respectivamente.

A segunda área usada no presente estudo está localizada no município de Braço do Norte localizado nas coordenadas 28°14'20,7''S e 49°13'55,5''W com relevo de declividade de 20%. Apresentando clima subtropical úmido com verão quente (Cfa), segundo a classificação de Köppen-Geiger (PEEL et al. 2007). As médias anuais de precipitação e temperaturas são de 1.471 mm e 18,7°C, respectivamente. Na Tabela 16 são apresentados os atributos químicos do solo no ano de instalação do experimento (2002), sabendo-se que no solo era anteriormente aplicado DLS.

Tabela 16. Atributos da camada de 0 – 10 cm de um Argissolo Vermelho Amarelo no ano de instalação do experimento a campo. Braço do Norte/SC, 2002.

Camada	pH H ₂ O*	Índice SMP*	Al*	Ca*	Mg*	P*	K*	M.O.*
(cm)	(1:1)		----	cmol _c kg ⁻¹ -----		-mg kg ⁻¹ -		g kg ⁻¹
0 – 10	5,1	5,5	0,8	3,1	0,8	19,3	130	33

Fonte: Guardini (2011) *Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995); M.O = Matéria orgânica.

O experimento foi implantado em dezembro de 2002 e antes da instalação o experimento consistia de pastagem com *Paspalum notatum*, *Paspalum Plicatulum*, *Eryngium ciliatum* e *Stylosanthes montevidensis*, com histórico da área com aplicação esporádica de dejetos líquidos de suínos sobre a superfície do solo. Antes da

implantação do experimento foi corrigido o pH do solo com a aplicação de 6 Mg ha^{-1} de calcário na superfície do solo, visando elevar o pH em água até 6,0. Nesse experimento foram aplicados anualmente na superfície do solo em sistema de plantio direto os tratamentos sem adubação; adubação com DLS ou cama sobreposta de suínos, em doses equivalentes à recomendação de $\text{N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e o dobro da recomendação de nitrogênio para a sucessão das culturas de milho e aveia. Os dejetos de suínos foram a única fonte de nutriente adicionada para a sucessão das culturas ao longo dos anos. Para o presente estudo foram coletadas as amostras de solo no tratamento com a aplicação média de $75 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DLS e o local sem aplicação de DLS (testemunha). As quantidades totais dos macronutrientes provenientes dos dejetos aplicado ao solo durante os 108 meses do experimento foram de 819; 694 e 604 kg ha^{-1} , para N; P_2O_5 e K_2O , respectivamente.

4.4.4 Análises químicas e físicas

Após a coleta as amostras foram acondicionadas em estufa a 65°C para secagem, com posterior moagem e passado em peneira com malha de 2 mm e acondicionadas em potes plásticos, as quais foram realizadas análises químicas e físicas para caracterização (ver Tabela 17). O pH em água foi determinado na relação 1:1 e o pH SMP medido após reação do solo com solução tamponada a pH 7,5, sendo estas determinações realizadas mediante leitura em potenciômetro. O K e P extraíveis foram extraídos pelo método Mehlich-1, sendo o potássio quantificado por fotometria de chama e o P por espectrofotometria de absorção molecular. Os teores de Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos com solução salina neutra de KCl 1 mol

L⁻¹, sendo os dois primeiros determinados por espectrofotômetro de absorção atômica e o último quantificado por titulometria ácido-base com NaOH 0,0125 mol L⁻¹ (TEDESCO et al. 1995). Para a análises físicas foram determinados os atributos granulométricos pelo método da pipeta EMBRAPA, (1997); e o teor de matéria orgânica por oxidação úmida com solução sulfocrômica (TEDESCO et al. 1995).

Tabela 17. Atributos químicos e físicos da camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de Latossolo e Argissolo coletados em Campos Novos e Braço do Norte, respectivamente, em áreas sem e com a aplicação de dejetos líquidos de suínos.

Solo – tratamento	Camada (cm)	pH água ⁽¹⁾	pH SMP ⁽¹⁾	Al ⁽¹⁾ ----cmol _c	Ca ⁽¹⁾ kg ⁻¹	Mg ⁽¹⁾ ---
Latossolo						
LVdf – C/DLS	0-10	4,7	5,4	0,5	5,0	2,6
	10-20	4,7	4,9	1,6	3,2	1,9
LVdf – S/DLS	0-10	5,1	5,1	1,3	6,1	2,5
	10-20	5,4	6,0	3,3	4,7	2,0
Argissolo						
PVA – C/DLS	0-10	6,2	6,4	0,0	6,0	2,9
	10-20	6,3	6,7	0,0	3,8	2,3
PVA – S/DLS	0-10	4,8	5,5	0,2	3,7	1,5
	10-20	4,8	5,8	0,3	2,2	1,1

Fonte: produção do próprio autor. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. pH = pH em água (1:1); SMP = pH índice SMP; Al = alumínio trocável; Ca = cálcio trocável; Mg = magnésio trocável; (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995).

Tabela 17. Continua.

Solo – tratamento	Camada (cm)	P ⁽¹⁾ ----mg kg ⁻¹ ----	K ⁽¹⁾
Latossolo			
LVdf – C/DLS	0-10	15,7	407,2
	10-20	15,6	246,1
LVdf – S/DLS	0-10	5,5	126,8
	10-20	1,4	49,6
Argissolo			
PVA – C/DLS	0-10	38,0	184,8
	10-20	18,8	97,3
PVA – S/DLS	0-10	24,6	154,1
	10-20	5,1	5,8

Fonte: produção do próprio autor. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. P = P disponível; K = potássio trocável; (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995).

Tabela 17. Continuação.

Solo – tratamento	Camada (cm)	M.O ⁽¹⁾ -----g kg ⁻¹ -----	Areia ⁽²⁾	Argila ⁽²⁾	Silte ⁽²⁾
Latossolo					
LVdf – C/DLS	0-10	44	34	717	249
	10-20	33	25	730	245
LVdf – S/DLS	0-10	44	156	419	425
	10-20	15	98	514	388
Argissolo					
PVA – C/DLS	0-10	39	590	284	126
	10-20	25	591	305	104
PVA – S/DLS	0-10	17	616	306	77
	10-20	9	661	310	30

Fonte: produção do próprio autor. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. M.O = matéria orgânica. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). (2) = determinado pelo método da pipeta EMBRAPA, (1997).

4.4.5 Fracionamento químico de fosforo

As amostras foram submetidas ao fracionamento químico de P mediante extrações sucessivas, seguindo metodologia proposta por Hedley et al. (1982), com as modificações propostas por Condrón & Goh (1989) e adaptações realizadas por (Gatiboni et al. 2013) (ver Figura 15). As amostras de solos foram submetidas à análise do fracionamento químico de P para a determinação das frações inorgânicas e orgânicas de P no solo. Amostras de 0,5 g de solo, com três repetições, foram extraídas sequencialmente, sendo a primeira extração com resina trocadora de ânions em lâminas (5x1cm) saturada com NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ a pH 8,5 (adaptado de Gatiboni, 2003), acrescida de 10 mL H_2O destilada e deionizada, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto). Após a resina de troca iônica foi transferida para um tubo falcon contendo 10 mL HCl $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ com auxílio de uma pinça e lavada com H_2O destilada e deionizada para remover as partículas aderidas de solo. Após colocado a resina no tubo contendo HCl $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ foi deixado em repouso por 90 minutos com a tampa aberta e após agitado por 30 minutos a 120 rotações por minuto em agitador orbital, onde foi obtido o extrato para determinação do P inorgânico lábil (P_i RTA) conforme anexos A, B e C. O solo no tubo foi centrifugado a 1400 g por 10 minutos, e com o solo decantado, foi descartado o sobrenadante cuidadosamente para evitar perda de solo, conforme anexo A.

O P inorgânico e orgânico lábil (P_i e P_o NaHCO_3), adsorvidos nas superfícies das partículas coloidais do solo, foram extraídos do solo remanescente da extração anterior, adicionando 10 mL NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ a pH 8,5, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento

de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante, adicionado 5 mL de NaCl 0,5 mol l⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior conforme anexo A, para a análise das frações de Pi e Po NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹, conforme anexos D e E. As frações de Pi-RTA, Pi-NaHCO₃ e Po-NaHCO₃ foram definidas como formas lábeis de P (ver Figura 15).

O P inorgânico moderadamente lábil (Pi NaOH) associado aos óxidos de ferro e Alumínio e o P orgânico (Po NaOH) associado aos compostos húmicos, foram extraídos com NaOH 0,1 mol l⁻¹. Na amostra de solo remanescente da extração anterior foram adicionados 10 mL de NaOH 0,1 mol l⁻¹, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante para outro tubo, adicionado 5 mL de NaCl 0,5 mol l⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior conforme anexo A, para a análise das frações de Pi e Po NaOH 0,1 mol l⁻¹, conforme anexos D e E.

O P inorgânico contido nos fosfatos de cálcio e fortemente adsorvido as partículas coloidais do solo, considerado não disponível a curto prazo foi extraído adicionando 10 mL de HCl 1,0 mol l⁻¹ na amostra de solo remanescente da extração anterior, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante para outro recipiente, adicionado 5 mL de NaCl 0,5 mol l⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior,

conforme anexo A, e para a análise da fração Pi HCl 1,0 mol l⁻¹, conforme anexo C.

O P inorgânico e orgânico fisicamente protegidos no interior de microagregados Gonçalves & Meurer, (2009), é representado pelas frações Pi e Po NaOH 0,5 mol l⁻¹ e foram extraídos da amostra de solo remanescente adicionando 10 mL NaOH 0,5 mol l⁻¹, realizada a ultrasonificação por 2 minutos a 120 watts, agitado por 16 horas em agitador de Wagner (movimento de 360° a 33 rotações por minuto), centrifugado a 1400 g por 10 minutos e transferido o sobrenadante ao extrato anterior. Após foi adicionado 5 mL de NaCl 0,5 mol l⁻¹ na amostra de solo, centrifugado novamente a 1400 g por 4 minutos e adicionado o sobrenadante ao extrato anterior, conforme anexo A, e para a análise das frações de Pi e Po NaOH 0,5 mol l⁻¹, conforme anexos D e E.

As frações recalcitrantes de P inorgânico e orgânico no solo (P residual), o solo foi seco em estufa moído e submetido à digestão com H₂SO₄ + H₂O₂ concentrado + MgCl₂ saturado, conforme anexo F (BROOKES & POWSON, 1981).

As formas moderadamente lábeis foram compostas pelas frações de Pi e Po em NaOH 0,1M e NaOH 0,5M e para as formas não lábeis foram formados pelas frações de Pi-HCl e P residual (ver Figura 15).

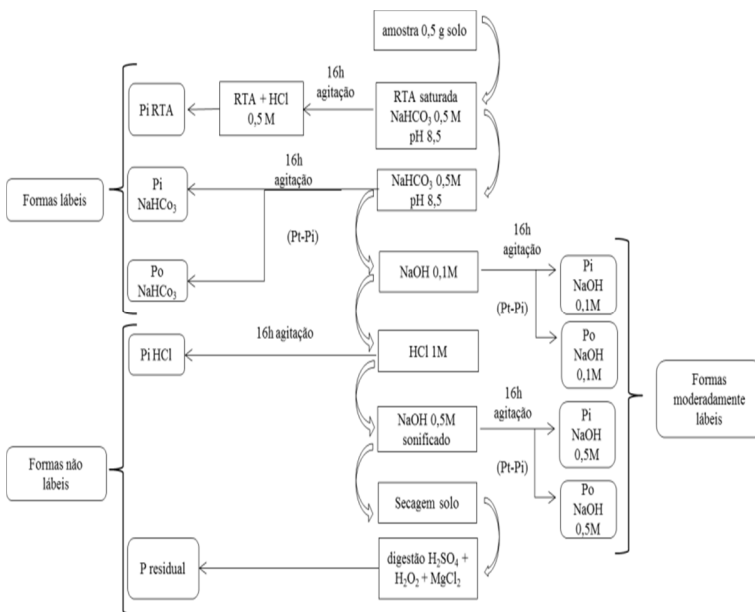
A determinação do P total dos extratos alcalinos por digestão dos extratos em NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹, NaOH 0,1 mol l⁻¹ e NaOH 0,5 mol l⁻¹, foi utilizado uma alíquota dos extratos e adicionado 10 mL persulfato de amônio 7,5% + 1 mL ácido sulfúrico 1:1 autoclavado em 121°C por 3 horas e completado o volume para 20 mL com água destilada e deionizada USEPA, (1971), conforme anexo E.

O Po foi obtido pela diferença entre P total e P inorgânico (ver Figura 15).

O P inorgânico dos extratos alcalinos em NaHCO_3 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$, NaOH $0,1 \text{ mol l}^{-1}$ e NaOH $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ foi determinado pelo método de (DICK & TABATABAI, 1977) conforme anexo D.

O P inorgânico dos extratos ácidos em RTA, HCl $1,0 \text{ mol l}^{-1}$ e P residual foi determinado por espectrofotometria de absorção molecular, segundo a metodologia de (MURPHY & RILEY, 1962), conforme anexo C.

Figura 15. Organograma das frações de P pelo fracionamento químico. Pi = P inorgânico. Po = P orgânico. RTA = resina trocadora de ânions. NaHCO_3 = bicarbonato de sódio. HCl = ácido clorídrico. NaOH = hidróxido de sódio.



Fonte: produção do próprio autor.

4.4.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando as variáveis das formas de P foram significativas nos solos, em profundidade e entre os solos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, considerando o nível mínimo de 5% de significância. As análises foram conduzidas usando-se o procedimento GLM do programa SAS[®] (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2003).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados consistem na informação sobre o acúmulo das formas de P determinadas pelo fracionamento químico na camada superficial (0 – 10 cm) e subsuperficial (10 – 20 cm), em solos com diferentes teores de argila, em sistema de cultivo com áreas submetidas a sucessivas aplicações na superfície do solo sem incorporação de DLS por longo período. Os resultados serão discutidos como foco principal o efeito da aplicação de dejetos nas diferenças da distribuição das formas de P dentro da mesma camada de cada solo. Depois discutir-se-ão as modificações nas formas de P considerando as duas camadas de solo avaliadas (0 – 10 e 10 – 20 cm), ou seja, as formas de P entre as camadas de cada solo. Finalmente, discutir-se-á dentro da mesma camada as diferenças entre cada tipo de solo (local).

4.5.1 Comparação do efeito de DLS sobre as formas de P em cada solo

A adição de DLS na camada superficial e subsuperficial, no Latossolo, promoveu aumento

significativo de P para a maioria das frações avaliadas, não sendo significativo apenas nas frações de P_o extraídas por NaOH (ver Tabela 18), Na camada superficial os teores de P foram de 49,2 e 18,0 mg kg^{-1} de P para as frações de $P_i\text{-RTA}$ e $P_i\text{-NaHCO}_3$, respectivamente. Esses teores de P correspondem a um aumento de 249 e 143% em relação ao solo sem adição de DLS. Observou-se na camada subsuperficial (10 – 20 cm), modificações expressivas pela adição de DLS nas frações de $P_i\text{-RTA}$ e $P_i\text{-NaHCO}_3$, onde o acúmulo de P corresponderam em 473 e 436% em relação ao solo sem a adição de DLS. Embora os Latossolos são solos intemperizados com um alto potencial de adsorção de P, a capacidade de adsorção de P é condicionada pela constante CMAP (capacidade máxima de adsorção de P) obtida pelo modelo de Langmuir, o qual pode ser ultrapassado com adição de altas doses (Rheinheimer et al. 2003). Isso pode indicar que os sítios de adsorção de P na camada de subsuperficial estão parcialmente saturados ou saturados com P, fato que se constata na Tabela 21 onde o Latossolo mostra que a adição de DLS não houve diferença nos teores de P na profundidade do solo. Por outro lado, Scherer et al. (2010) trabalhando com um Latossolo a adição de DLS por longo período observaram que não houve acúmulo de P disponível na camada subsuperficial em solos semelhantes no oeste catarinense.

No Argissolo as frações inorgânicas lábeis de P diferiram com a adição de DLS na camada superficial e subsuperficial. Na camada superficial os teores de P foram de 77,4 e 55,8 mg kg^{-1} de P nas frações de $P_i\text{-RTA}$ e $P_i\text{-NaHCO}_3$, respectivamente, as quais foram de 105 e 167% maior que o Argissolo sem a adição de DLS (ver Tabela 18). Na camada subsuperficial o acúmulo de P nas frações de $P_i\text{-RTA}$ e $P_i\text{-NaHCO}_3$ foram de 177 e

171%, respectivamente, em relação ao Argissolo sem adição de DLS.

Na fração orgânica de P em NaHCO_3 da camada superficial a adição de DLS provocou diferenças significativamente nos teores de P para o Latossolo e Argissolo. Para a camada subsuperficial somente o Latossolo diferiu significativamente nos teores de P (ver Tabela 18). Nessa fração orgânica lábil a adição de DLS promove uma diminuição do teor de P, sendo que o maior teor de P foi no solo sem adição de DLS. Esse comportamento pode ser causado pela a atividade microbiana sobre o DLS que favorece a mineralização da forma orgânica disponível.

Na forma lábil proposta por Johnson et al. (2003), uma definição que incluem os fosfatos inorgânicos extraídos pela RTA e NaHCO_3 e o fosfato orgânico extraído por NaHCO_3 , que correspondem a fração lábil, a adição de DLS apresentou efeito significativo nas camadas superficial e subsuperficial para o Latossolo e Argissolo (ver Tabela 19). Para a camada superficial houve um aumento de 60 e 86% no Latossolo e Argissolo, respectivamente, em comparação aos solos sem a adição de DLS (ver Tabela 19). No entanto, na camada subsuperficial o aumento foi de 200 e 124% para o Latossolo e Argissolo, respectivamente, em comparação aos solos sem a adição de DLS. Em média, os teores acumulados de P nas formas inorgânicas lábeis foram maiores que o teor de P orgânico lábil, indicando que a fração de P_i lábil ($\text{P}_i\text{-RTA} + \text{P}_i\text{-NaHCO}_3$) são importantes acumuladoras de P. Contreras et al. (2007) também relataram que em solos arenosos a adição de dejetos aumenta as frações mais lábeis em relação ao solo não alterado.

A adição de DLS na camada superficial e subsuperficial no Latossolo modificaram

significativamente os teores de P das frações inorgânicas moderadamente lábeis, os quais correspondem ao Pi em NaOH 0,1 e NaOH 0,5. Os maiores teores de P inorgânico na camada superficial com a adição de DLS, foram de 312,0 e 151,1 mg kg⁻¹ de P nas frações NaOH 0,1 e NaOH 0,5, respectivamente. Observa-se que o acúmulo de P principalmente na fração de Pi-NaOH 0,1 foi 2.338% em comparação ao Latossolo sem adição de DLS. Para a camada subsuperficial os teores foram de 297,6 e 136,8 mg kg⁻¹ de P, nas frações NaOH 0,1 e NaOH 0,5, respectivamente. A fração Pi-NaOH 0,1 na camada subsuperficial correspondeu a um acúmulo de P de 4.860% em comparação ao Latossolo sem adição de DLS (ver Tabela 18). A adição de DLS por 10 anos no Latossolo causou um efeito acumulativo de P em frações inorgânicas moderadamente lábeis, onde os sítios de adsorção na camada de 0 – 10 cm estão possivelmente saturados pelo fato que na camada de 10 – 20 cm de profundidade o acúmulo é 2 vezes maior em profundidade. Corroborando com esse efeito acumulativo Costa (2011), encontrou que este incremento ocorreu até a camada de 10 – 20 cm de profundidade.

No Argissolo a adição de DLS na camada superficial diferiu os teores de P na fração NaOH 0,1, correspondendo em 45,9 mg kg⁻¹ de P, sendo que houve acúmulo de de P em 496% com a adição de DLS (ver Tabela 18). Na camada subsuperficial a fração NaOH 0,1 diferiu entre os teores de P com a adição de DLS no qual apresentou 11,8 mg kg⁻¹ de P, com acúmulo de P em 258% em comparação ao Argissolo sem adição de DLS. No Argissolo a adição de DLS na fração Pi-NaOH 0,5 não houve diferença significativa para a camada superficial e subsuperficial (ver Tabela 18).

A fração orgânica moderadamente lábil, representada pelas frações de NaOH 0,1 e 0,5, somente no Argissolo na camada subsuperficial observou que houve efeito da adição de DLS na fração de Po-NaOH 0,1, onde os teores de P foram maiores com a adição de DLS, correspondendo em $100,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de P. A adição de DLS nos solos avaliados não mostrou diferença na fração de Po-NaOH 0,5 nas camadas avaliadas (ver Tabela 18).

Nos solos avaliados a forma moderadamente lábil as frações em NaOH 0,1 e 0,5 representaram o maior acúmulo de P com a adição de DLS promovendo aumento significativo nos teores de P (ver Tabela 19), sendo que os teores de P foram menos expressivos na fração em NaOH 0,5 (ver Tabela 18). O acúmulo dos teores de P na forma moderadamente lábil na camada superficial variou de 61 e 40% em comparação aos solos sem adição de DLS, ao Latossolo e Argissolo, respectivamente. Na camada subsuperficial esse aumento nos teores de P na forma moderadamente lábil foi de 118 e 48% em comparação ao Latossolo e Argissolo sem adição de DLS, respectivamente. (ver Tabela 19). Nesses solos indicam que a fração mineral estão parcialmente saturados ou saturados.

Na fração de Pi-HCl a adição de DLS alterou significativamente os teores de P na camada superficial e subsuperficial para o Latossolo e Argissolo. Assim, na camada superficial o acúmulo nos teores de P foram de 103 e 281%, para o Latossolo e Argissolo, respectivamente. Avaliando-se a camada subsuperficial o acúmulo no teor de Pi-HCl foram de 200 e 105% para o Latossolo e Argissolo, respectivamente (ver Tabela 18).

Na fração de P-residual a qual é uma forma recalcitrante de P, com a adição de DLS somente o

Latossolo diferiu significativamente os teores de P na camada superficial e subsuperficial, no qual os maiores teores de P foram encontrados com a adição de DLS (ver Tabela 18). Os teores de P-residual influenciaram significativamente na forma não lábil, sendo assim, com a adição de DLS na camada superficial e subsuperficial manteve a diferença nos teores de P da forma não lábil somente para o Latossolo (ver Tabela 19). Por sua vez, em solo arenoso o P adicionado através de DLS acumula-se em formas de menor recalcitrância, devido as menores proporções de óxidos de ferro e alumínio na fração argila, o P adicionado tende a acumular-se preferencialmente em frações lábeis, com pouco ou nenhum efeito sobre a fração residual.

Tabela 18. Frações de P inorgânico e orgânico extraídos pelo fracionamento químico de Hedley em amostras de solo coletadas na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, submetidos a adição de DLS por longo período, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.

Solo-trat.	Camada (cm)	Pi –	Pi –	Pi –	Pi –	Pi –	P –
		RTA	bic	Hid 0,1	HCl	Hid 0,5	Residual
		mg kg ⁻¹					
Latossolo							
LVdf-C/DLS	0-10	49,2 *	18,0 *	312,0 *	7,1 *	151,1 *	653,9 *
LVdf-S/DLS	0-10	14,1	7,7	12,8	3,5	104,6	321,5
	CV(%)	2,9	23,5	8,0	15,4	4,1	16,1
Argissolo							
PVA - C/DLS	0-10	77,4 *	55,8 *	45,9 *	30,5 *	30,1 ^{NS}	96,1 ^{NS}
PVA - S/DLS	0-10	37,7	20,9	7,7	8,0	23,4	99,0
	CV(%)	6,0	12,1	25,7	20,8	18,4	27,5
Latossolo							
LVdf - C/DLS	10-20	52,1 *	19,3 *	297,6 *	5,4 *	136,8 *	559,7 *
LVdf - S/DLS	10-20	9,1	3,6	6,0	1,8	77,8	471,2
	CV(%)	20,3	25,9	15,3	15,0	18,7	7,2
Argissolo							
PVA - C/DLS	10-20	26,9 *	12,2 *	11,8 *	3,9 *	18,7 ^{NS}	72,7 ^{NS}
PVA - S/DLS	10-20	9,7	4,5	3,3	1,9	15,0	94,0
	CV(%)	2,9	12,7	22,3	14,3	21,2	22,6

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre os tratamentos são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. Trat. – tratamento. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-bic = P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5mol L⁻¹; Pi-hid 0,1 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-hid 0,5 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-residual = P extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

Tabela 18. Continua.

Solo – trat.	Camada (cm)	Po –	Po –	Po –
		NaHCO ₃	NaOH 0,1M	NaOH 0,5M
		----- mg kg ⁻¹ -----		
Latossolo				
LVdf - C/DLS	0-10	10,2 *	211,5 ^{NS}	26,8 ^{NS}
LVdf - S/DLS	0-10	26,7	290,9	26,2
	CV(%)	10,4	26,3	38,0
Argissolo				
PVA - C/DLS	0-10	6,1 *	128,2 ^{NS}	24,3 ^{NS}
PVA - S/DLS	0-10	16,1	107,2	24,5
	CV(%)	37,7	17,3	34,8
Latossolo				
LVdf - C/DLS	10-20	9,8 *	164,5 ^{NS}	11,8 ^{NS}
LVdf - S/DLS	10-20	14,3	165,4	31,0
	CV(%)	14,1	8,1	57,4
Argissolo				
PVA - C/DLS	10-20	7,1 ^{NS}	100,4 *	18,0 ^{NS}
PVA - S/DLS	10-20	6,4	70,0	12,3
	CV(%)	13,8	12,3	57,0

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre os tratamentos são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. Trat. = tratamento. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférrico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. Po-NaHCO₃ = P orgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹; Po-NaOH 0,1M = P orgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Po-NaOH 0,5M = P orgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹.

Tabela 19. Formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil nos solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.

Solo-tratamento	Camada (cm)	P Lábil	P moderadamente lábil	P não lábil
		----- mg kg ⁻¹ -----		
Latossolo				
LVdf - C/DLS	0-10	77,5 *	701,4 *	660,9 *
LVdf - S/DLS	0-10	48,5	434,4	324,9
	CV(%)	7,2	10,2	16,0
Argissolo				
PVA - C/DLS	0-10	139,3 *	228,4 *	126,6 ^{NS}
PVA - S/DLS	0-10	74,8	162,8	107,0
	CV(%)	5,1	10,3	20,8
Latossolo				
LVdf - C/DLS	10-20	81,3 *	610,6 *	565,2 *
LVdf - S/DLS	10-20	27,1	280,2	472,9
	CV(%)	17,1	10,8	7,2
Argissolo				
PVA - C/DLS	10-20	46,2 *	148,9 *	76,6 ^{NS}
PVA - S/DLS	10-20	20,6	100,5	95,9
	CV(%)	13,5	8,8	21,6

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre os tratamentos são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférrico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. P lábil = Pi-RTA + Pi-NaHCO₃ + Po-NaHCO₃; P moderadamente lábil = Pi-NaOH 0,1M + Po-NaOH 0,1M + Pi-NaOH 0,5M + Po-NaOH 0,5M; P não lábil = Pi-HCl + P-residual.

De maneira geral, para o Latossolo e Argissolo, com a adição de DLS o P biológico, o qual é constituído pelas formas orgânicas, não diferiu (ver Tabela 20). Para o P orgânico total somente houve diferença no teor de P na camada subsuperficial do Argissolo, o qual apresentou o menor teor de P com $158,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de P em comparação ao solo sem a adição de DLS que foi de $215,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de P (ver Tabela 20). Contudo, a adição de DLS alterou o P geoquímico para a camada superficial do Latossolo e Argissolo, no qual os teores de P representaram 83 e 68%, respectivamente do P total do solo (ver Tabela 20). Sem adição de DLS essa forma de P geoquímico para o Latossolo e Argissolo corresponderam em 57% em cada solo. Esse fato condiz que a adição de DLS promoveu acúmulo de P principalmente em formas inorgânicas, no qual teve aumento de 33% nos teores de P em comparação aos solos sem adição de DLS. Contrariamente, o P biológico com a adição de DLS reduziu em 45% nos teores de P em comparação aos solos sem adição de DLS.

Para a forma de P inorgânico total a adição de DLS diferenciou os teores de P no Latossolo para a camada superficial e subsuperficial, correspondendo em um acúmulo de 62 e 95%, respectivamente. O acúmulo de P inorgânico total no Argissolo com a adição de DLS somente diferenciou para a camada superficial, o qual foi de 157% em relação ao solo sem adição de DLS (ver Tabela 20). Entre os solos para as formas inorgânicas observa-se que o Latossolo com 10 anos de adição de DLS tem suas camadas afetadas pela adição de DLS. No Argissolo com 9 anos de adição de DLS, constata-se que afetou apenas a camada de 0 – 10 cm de profundidade.

Em síntese, a adição de DLS apresentou diferenças nas formas de P em cada solo. Para o

Latossolo a adição de DLS aumentou em todas as frações inorgânicas de P na camada superficial e subsuperficial. Para as formas orgânicas, a adição de DLS aumentou os teores da fração lábil de P na camada superficial e subsuperficial. O Argissolo a adição de DLS aumentou os teores de P principalmente das formas inorgânicas lábeis de P e na fração de NaOH 0,1 para a camada superficial e subsuperficial. Na forma orgânica a adição de DLS aumentou os teores de P da fração lábil.

Tabela 20. Formas de P biológico, geoquímico, orgânico e inorgânico total nos solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.

Solo – tratamento	Camada (cm)	P bio	P orgânico total ⁽¹⁾	P geo	P inorgânico total ⁽²⁾
		----- mg kg ⁻¹ -----			
Latossolo					
LVdf - C/DLS	0-10	248,5 ^{NS}	399,6 ^{NS}	1191,3 *	815,2 *
LVdf - S/DLS	0-10	343,8	474,1	464,1	503,0
	CV(%)	22,9	15,8	10,2	18,6
Argissolo					
PVA - C/DLS	0-10	158,5 ^{NS}	205,1 ^{NS}	335,8 *	987,0 *
PVA - S/DLS	0-10	147,8	265,4	196,7	384,4
	CV(%)	9,8	17,3	10,3	11,5
Latossolo					
LVdf - C/DLS	10-20	186,1 ^{NS}	301,6 ^{NS}	1071,0 *	860,3 *
LVdf - S/DLS	10-20	210,7	300,2	569,5	441,5
	CV(%)	11,1	16,3	9,5	18,8
Argissolo					
PVA - C/DLS	10-20	125,6 ^{NS}	158,6 *	146,1 ^{NS}	215,2 ^{NS}
PVA - S/DLS	10-20	88,6	215,4	128,3	133,3
	CV(%)	11,9	14,1	15,0	38,6

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre os tratamentos são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférrico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. P bio = P biológico = somatório de P orgânico em Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1M e Po-NaOH 0,5M. P geo = P geoquímico = somatório de P inorgânico em Pi-RTA, Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1M, Pi-HCl, Pi-NaOH 0,5M e P-residual. ⁽¹⁾ = P orgânico total por ignição extraído por Olsen & Sommers (1982). ⁽²⁾ = teor de P total por Digestão (H₂SO₄ concentrado + H₂O₂ 30%) – P orgânico total por ignição.

4.5.2 Comparação do efeito de DLS sobre as formas de P em profundidade

No Latossolo, a adição de DLS não promoveu diferença entre as camadas de 0 – 10 e 10 – 20 cm, exceto para a fração Pi-HCl (ver Tabela 21). Já no Latossolo sem a adição de dejetos, houve diferenças entre as camadas em praticamente todas as formas de P (ver Tabela 21). Isso indica que no Latossolo sem adição de DLS há gradiente de P em profundidade, enquanto no Latossolo com adição de DLS as duas camadas são iguais, inferindo-se que, portanto, houve saturação de P na camada superficial e migração de P para a segunda camada amostrada (ver Tabela 21).

Por outro lado, para o Argissolo, foi observado gradiente entre as camadas amostradas em ambos solos (com e sem DLS) (ver Tabela 21), indicando que neste solo provavelmente ainda não ocorreu a saturação de P na camada superficial. Esses resultados corroboram com os de Gatiboni et al. (2008), Ceretta et al. (2010) e Gardini et al. (2012) que encontraram em solo arenoso que o efeito da adição de DLS para as formas inorgânicas lábeis diminuíram em profundidade. Por outro lado, a forma orgânica lábil no Argissolo a adição de DLS não diferiu em profundidade (ver Tabela 21), mostrando que o pouco acúmulo de P orgânico em solo arenoso (GATIBONI et al. 2008; CERETTA et al. 2010). Esse resultado está de acordo com os dados de literatura, que argumentam que essa fração orgânica está relacionada a compostos orgânicos de fácil decomposição, onde o pequeno acúmulo nessa forma de P é estabelecido pelos microrganismos, sendo que são facilmente mineralizados (CHEN et al. 2002; GATIBONI et al. 2008). Para a forma lábil os teores de P diferiram em profundidade no Argissolo, nos tratamentos com e

sem DLS, sendo que a camada superficial apresentou os maiores teores de P (ver Tabela 22). Esses resultados mostram que no Argissolo o efeito da adição de DLS é mais pronunciado na camada de 0 – 10 cm de profundidade.

Tabela 21. Frações de P inorgânico e orgânico extraídos pelo fracionamento químico de Hedley em amostras de solo coletadas na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, submetidos a adição de DLS por longo período, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.

Solo – trat.	Prof. (cm)	Pi – RTA	Pi- bic	Pi- Hid 0,1	Pi- HCl	Pi- Hid 0,5	P- residual
----- mg kg ⁻¹ -----							
Latossolo							
LVdf - C/DLS	0-10	49,2 ^{NS}	18,0 ^{NS}	312,0 ^{NS}	7,1 *	151,1 ^{NS}	653,9 ^{NS}
	10-20	52,1	19,3	297,6	5,4	136,8	559,7
	CV(%)	12,2	21,8	8,7	15,2	11,6	13,7
Latossolo							
LVdf - S/DLS	0-10	14,1 *	7,7 *	12,8 *	3,5 *	104,6 *	321,5 *
	10-20	9,1	3,6	6,0	1,8	77,8	471,2
	CV(%)	8,4	20,8	27,7	8,0	13,4	6,5
Argissolo							
PVA - C/DLS	0-10	77,4 *	55,8 *	45,9 *	30,5 *	30,1 *	96,1 ^{NS}
	10-20	26,9	12,2	11,8	3,9	18,7	72,7
	CV(%)	2,9	9,9	24,5	23,2	10,9	31,9
Argissolo							
PVA - S/DLS	0-10	37,7 *	20,9 *	7,7 *	8,0 *	23,4 ^{NS}	99,0 ^{NS}
	10-20	9,7	4,5	3,3	1,9	15,0	94,0
	CV(%)	13,2	26,3	12,5	10,6	28,5	19,3

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre as camadas são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Trat. = tratamento. Prof. = profundidade. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-bic = P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5mol L⁻¹; Pi-Hid 0,1 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-Hid 0,5 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-residual = P extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

Tabela 21. Continua.

Solo – trat.	Camada (cm)	Po- NaHCO ₃	Po- NaOH 0,1M	Po- NaOH 0,5M
		mg kg ⁻¹		
Latossolo				
LVdf - C/DLS	0-10	10,2 ^{NS}	211,5 ^{NS}	26,8 ^{NS}
	10-20	9,8	164,5	11,8
	CV(%)	23,3	35,3	49,1
Latossolo				
LVdf - S/DLS	0-10	26,7 [*]	290,9 [*]	26,2 ^{NS}
	10-20	14,3	165,4	31,0
	CV(%)	3,6	5,0	44,6
Argissolo				
PVA - C/DLS	0-10	6,1 ^{NS}	128,2 ^{NS}	24,3 ^{NS}
	10-20	7,1	100,4	18,0
	CV(%)	46,4	18,1	56,3
Argissolo				
PVA - S/DLS	0-10	16,1 [*]	107,2 [*]	24,5 [*]
	10-20	6,4	70,0	12,3
	CV(%)	26,7	11,0	12,1

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre as camadas são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. Trat. Tratamento. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférrico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. Po-NaHCO₃ = P orgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹; Po-NaOH 0,1M = P orgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Po-NaOH 0,5M = P orgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹.

Tabela 22. Formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil nos solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.

Solo – tratamento	Camada (cm)	P Lábil	P moderadamente lábil	P não lábil
		----- mg kg ⁻¹ * -----		
Latossolo				
LVdf - C/DLS	0-10	77,5 ^{NS}	701,4 ^{NS}	660,9 ^{NS}
	10-20	81,3	610,6	565,2
	CV(%)	12,9	11,1	13,6
Latossolo				
LVdf - S/DLS	0-10	48,5 *	434,4 *	324,9 *
	10-20	27,1	280,2	472,9
	CV(%)	3,2	5,1	6,4
Argissolo				
PVA - C/DLS	0-10	139,3 *	228,4 *	126,6 *
	10-20	46,2	148,9	76,6
	CV(%)	1,4	10,8	23,7
Argissolo				
PVA - S/DLS	0-10	74,8 *	162,8 *	107,0 *
	10-20	20,6	100,5	95,9
	CV(%)	11,4	8,0	18,6

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre as camadas são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférrico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. P lábil = Pi-RTA + Pi-NaHCO₃ + Po-NaHCO₃; P moderadamente lábil = Pi-NaOH 0,1M + Po-NaOH 0,1M + Pi-NaOH 0,5M + Po-NaOH 0,5M; P não lábil = Pi-HCl + P-residual.

A Tabela 22 mostra as formas de P do fracionamento agrupadas por labilidade, onde se pode observar que no Latossolo com adição de DLS não há diferença entre as duas camadas amostradas, conforme relatado anteriormente. O Argissolo as diferenças entre as camadas ocorrem em todas as formas de P, porém principalmente nas formas lábeis e moderadamente lábeis (ver Tabela 22). O mesmo comportamento pode ser observado quando as formas são separadas em P biológico e P geoquímico, conforme recomendado por Cross & Schlessinger (1995) (ver Tabela 23).

Para a forma de P biológico a adição de DLS diferenciou os teores de P em profundidade no Argissolo (ver Tabela 23). Por outro lado, o Latossolo mostrou efeito nos teores de P em profundidade sem a adição de DLS. Isso indica que o Latossolo com um período de 10 anos de adição de DLS afetou o acúmulo de P de formas orgânicas em profundidade.

A adição de DLS não diferiu nos teores de P da forma P orgânico total em profundidade no Latossolo e Argissolo (ver Tabela 23). A forma de P geoquímico a adição de DLS distinguiu os teores de P em profundidade no Argissolo, no qual o acúmulo de P correspondeu em aumento de 129% (ver Tabela 23). Semelhantemente, para a forma de P inorgânico total com adição de DLS os teores de P distinguiram em profundidade para o Argissolo (ver Tabela 23). Isso novamente demonstra que o Latossolo encontra-se saturado por formas inorgânicas e orgânicas em sua profundidade em função da adição de DLS. No entanto, esse comportamento esperava-se no Argissolo em função das características físicas com menores teores de argila e conseqüentemente menores sítios de adsorção.

Tabela 23. Formas de P biológico, geoquímico, orgânico e inorgânico total nos solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados nas camadas de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.

Solo – tratamento	Camada (cm)	P biológico	P geoquímico
		----- mg kg ⁻¹ -----	
		Latossolo	
LVdf - C/DLS	0-10	248,5 ^{NS}	1191,3 ^{NS}
	10-20	186,1	1071,0
	CV(%)	31,5	10,0
		Latossolo	
LVdf - S/DLS	0-10	343,8 *	464,1 *
	10-20	210,7	569,5
	CV(%)	7,4	4,8
		Argissolo	
PVA - C/DLS	0-10	158,5 *	335,8 *
	10-20	125,6	146,1
	CV(%)	12,6	11,9
		Argissolo	
PVA - S/DLS	0-10	147,8 *	196,7 *
	10-20	88,6	128,3
	CV(%)	7,1	11,6

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições * = médias na coluna entre as camadas são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférrico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. P biológico = somatório de P orgânico em Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1M e Po-NaOH 0,5M. P geoquímico = somatório de P inorgânico em Pi-RTA, Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1M, Pi-HCl, Pi-NaOH 0,5M e P-residual.

Tabela 23. Continua.

Solo - tratamento	Camada (cm)	P	P
		Orgânico total ⁽¹⁾ ----- mg kg ⁻¹ -----	Inorgânico total ⁽²⁾
Latossolo			
LVdf - C/DLS	0-10	399,6 ^{NS}	815,2 ^{NS}
	10-20	301,6	860,3
	CV(%)	17,1	13,5
Latossolo			
LVdf - S/DLS	0-10	474,1 *	503,0 ^{NS}
	10-20	300,2	441,5
	CV(%)	15,4	27,8
Argissolo			
PVA - C/DLS	0-10	205,1 ^{NS}	987,0 *
	10-20	158,6	215,2
	CV(%)	21,6	9,7
Argissolo			
PVA - S/DLS	0-10	265,4 *	384,4 *
	10-20	215,4	133,3
	CV(%)	11,8	33,1

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições * = médias na coluna entre as camadas são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. ⁽¹⁾ = P orgânico total por ignição extraído por Olsen & Sommers (1982). ⁽²⁾ = teor de P total por Digestão (H₂SO₄ concentrado + H₂O₂ 30%) – P orgânico total por ignição.

4.5.3 Comparação do efeito de DLS sobre as formas de P entre os locais

A adição de DLS na camada superficial mostrou teores de P significativamente diferentes entre os solos para as frações inorgânicas lábeis de P (Pi-RTA e Pi-NaHCO₃), onde os maiores teores de P foram

encontrados no Argissolo, correspondendo em 77,4 e 55,8 mg kg⁻¹ de P, respectivamente (ver Tabela 24). Em função desse acúmulo nas frações de Pi-RTA e Pi-NaHCO₃ as quais correspondem em participação expressiva da forma lábil, o maior teor de P dessa forma lábil foi no Argissolo com 139,3 mg kg⁻¹ de P, diferindo significativamente do solo argiloso (ver Tabela 25). Isso indica que com a adição de DLS na superfície, principalmente em solo arenoso, ocorre acúmulo em formas inorgânicas lábeis de P, provavelmente por causa do menor complexo sortivo nesse solo, que impede acúmulo de P em formas mais estáveis. Esse fato estabelece um sinal de alerta em áreas de solos arenosos, os quais devido às características físicas e morfológicas, estão sujeitos a perdas de solo e água e como os maiores teores de P se encontram na superfície do solo, podem aumentar o potencial poluente nessas áreas. Comparando o Latossolo e o Argissolo, com 10 e 9 anos de adição de DLS, respectivamente, observa-se os maiores teores de P lábil no Argissolo, em função desse solo apresentar menor capacidade de adsorção de P.

Diferentemente, quando se avaliou na camada de 10 – 20 cm de profundidade, com a adição de DLS os teores de P também diferiram para as frações de Pi-RTA e Pi-NaHCO₃, porém os maiores teores de P foram encontrados no Latossolo, com 52,1 e 19,3 mg kg⁻¹ de P, respectivamente (ver Tabela 24). Esse acúmulo no teor de P inorgânico das formas lábeis na camada subsuperficial diferiu entre os solos, sendo que a maior concentração de P ocorreu no Latossolo com 81,3 mg kg⁻¹ de P (ver Tabela 25). Embora o Latossolo com 10 anos de adição de DLS apresente na camada de 10 – 20 cm o maior teor de argila, esse maior acúmulo de P

mostra que esse solo está em alto grau de saturação de P.

A adição de DLS não diferiu a fração de P orgânico lábil entre os solos para as camadas avaliadas. No entanto sem a adição de DLS o solo Argiloso apresentou maior teor de P orgânico lábil em comparação ao solo arenoso (Tabela 24). Isso indica que o solo arenoso acumulou P orgânico lábil com a adição de DLS, devido ao aumento da matéria orgânica.

Nas frações inorgânicas de P extraídas por NaOH 0,1 e NaOH 0,5 a adição de DLS na camada superficial ocasionou diferença entre os solos (ver Tabela 24). Para a fração Pi-NaOH 0,1 os maiores teores encontram-se no Latossolo correspondendo em $312,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de P, em comparação ao Argissolo com $45,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de P (ver Tabela 24). Nessa fração o acúmulo de P foi 6,7 vezes maior no solo argiloso em comparação ao solo arenoso. Da mesma forma, analisando a camada subsuperficial o teor de Pi-NaOH 0,1 foi significativamente maior no Latossolo, correspondendo em $297,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de P em comparação ao Argissolo que foi de $11,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de P. Para a fração Pi-NaOH 0,5 na camada superficial os teores de P corresponderam em $151,1$ e $30,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de P, para o Latossolo e Argissolo, respectivamente. Entretanto, observou na camada subsuperficial que os teores de P foram de $136,8$ e $18,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de P, para o Latossolo e Argissolo, respectivamente (ver Tabela 24). Nessas formas de P inorgânico considerado moderadamente lábil observa-se que o maior acúmulo de P ocorre principalmente no solo argiloso.

Para a fração de P orgânico em NaOH 0,1 a adição de DLS na camada superficial não diferiu nos teores de P entre os solos (ver Tabela 24). No entanto, na camada subsuperficial com adição de DLS, constatou-se que o solo argiloso diferiu do solo arenoso,

correspondendo em 164,5 e 100,4 mg kg⁻¹ de P, para o Latossolo e Argissolo, respectivamente (ver Tabela 24). Entre os teores de P extraídos por NaOH, as frações de Pi-NaOH 0,1 e Po-NaOH 0,1 representaram maior acúmulo de P em função da adição de DLS, mostrando que é uma importante fonte de P, que pode participar na disponibilidade de P por processos de mineralização, principalmente em solo argiloso.

Para as formas de labilidade moderada a adição de DLS na camada superficial manteve a maior concentração de P no solo argiloso em comparação ao solo arenoso (ver Tabela 25). Esse comportamento é condicionado pelas propriedades físicas e mineralógicas, com altos teores de argila e aos óxidos da fração argila, respectivamente, onde o solo argiloso apresenta a capacidade de reter com mais energia o P. Nessa fração moderadamente lábil os teores de P com a adição de DLS corresponderam a 49 e 46% do P total para o Latossolo e Argissolo, respectivamente.

Na fração de P inorgânico em HCl a adição de DLS na camada superficial alterou significativamente os teores de P entre os solos, sendo que o maior teor de P foi observado no Argissolo equivalendo a 30,5 mg kg⁻¹ de P em comparação ao Latossolo que foi de 7,1 mg kg⁻¹ de P (ver Tabela 24).

Para a fração de P-residual fica evidente a diferença na fração argila dos solos, onde o solo arenoso tem menor P residual (ver Tabela 24) porque tem menos cargas elétricas que o solo argiloso.

O efeito da textura sobre as formas de P é melhor visualizado na Tabela 25, onde fica evidente que o solo arenoso acumula mais P nas formas mais lábeis enquanto o argiloso em formas moderadamente lábeis e não lábeis.

Tabela 24. Frações de P inorgânico e orgânico extraídos pelo fracionamento químico de Hedley entre solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.

Solo – trat.	Prof. (cm)	Pi – RTA	Pi – bic	Pi – Hid 0,1	Pi – HCl	Pi – Hid 0,5	P – residual
----- mg kg ⁻¹ -----							
LVdf-C/DLS	0-10	49,2 *	18,0 *	312,0 *	7,1 *	151,1 *	653,9 *
PVA-C/DLS	0-10	77,4	55,8	45,9	30,5	30,1	96,1
	CV(%)	2,4	11,9	8,1	21,6	2,3	21,4
LVdf-C/DLS	10-20	52,1 *	19,3 *	297,6 *	5,4 *	136,8 *	559,7 *
PVA-C/DLS	10-20	26,9	12,2	11,8	3,9	18,7	72,7
	CV(%)	15,7	18,7	15,0	13,5	21,6	11,0
LVdf-S/DLS	0-10	14,1 *	7,7 *	12,8 *	3,5 *	104,6 *	321,5 *
PVA-S/DLS	0-10	37,7	20,9	7,7	8,0	23,4	99,0
	CV(%)	12,5	23,5	23,5	8,7	10,7	10,3
LVdf-S/DLS	10-20	9,1 ^{NS}	3,6 ^{NS}	6,0 *	1,8 ^{NS}	77,8 *	471,2 *
PVA-S/DLS	10-20	9,7	4,5	3,3	1,9	15,0	94,0
	CV(%)	6,3	27,7	25,9	14,4	24,8	8,2

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre os solos são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Trat. = tratamento. Prof. Profundidade. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférrico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-NaHCO₃ = P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5mol L⁻¹; Pi-NaOH 0,1M = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-NaOH 0,5M = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-residual = P extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

Tabela 24. Continua.

Solo – tratamento	Camada (cm)	Po –	Po –	Po –
		NaHCO ₃	NaOH 0,1M	NaOH 0,5M
		mg kg ⁻¹		
LVdf-C/DLS	0-10	10,2 ^{NS}	211,5 ^{NS}	26,8 ^{NS}
PVA-C/DLS	0-10	6,1	128,2	24,3
	CV(%)	42,6	40,1	47,8
LVdf-C/DLS	10-20	9,8 ^{NS}	164,5 *	11,8 ^{NS}
PVA-C/DLS	10-20	7,1	100,4	18,0
	CV(%)	19,4	10,3	61,0
LVdf-S/DLS	0-10	26,7 *	290,9 *	26,2 ^{NS}
PVA-S/DLS	0-10	16,1	107,2	24,5
	CV(%)	14,2	5,6	19,6
LVdf-S/DLS	10-20	14,3 *	165,4 *	31,0 ^{NS}
PVA-S/DLS	10-20	6,4	70,0	12,3
	CV(%)	6,9	8,5	55,2

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre os solos são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférrico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. Po-NaHCO₃ = P orgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5mol L⁻¹; Po-NaOH 0,1M = P orgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Po-NaOH 0,5M = P orgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹.

Tabela 25. Formas de P lábil, moderadamente lábil e não lábil entre solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.

Solo - tratamento	Camada (cm)	P lábil	P moderadamente lábil	P não lábil
		-----	mg kg ⁻¹	-----
LVdf-C/DLS	0-10	77,5 *	701,4 *	660,9 *
PVA-C/DLS	0-10	139,3	228,4	126,6
	CV(%)	4,3	12,5	20,2
LVdf-C/DLS	10-20	81,3 *	610,6 *	565,2 *
PVA-C/DLS	10-20	46,2	148,9	76,6
	CV(%)	14,5	12,7	10,9
LVdf-S/DLS	0-10	48,5 *	434,4 *	324,9 *
PVA-S/DLS	0-10	74,8	162,8	107,0
	CV(%)	8,7	6,2	10,2
LVdf-S/DLS	10-20	27,1 *	280,2 *	472,9 *
PVA-S/DLS	10-20	20,6	100,5	95,9
	CV(%)	5,9	5,3	8,1

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre os solos são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. P lábil = Pi-RTA + Pi-NaHCO₃ + Po-NaHCO₃; P moderadamente lábil = Pi-NaOH 0,1M + Po-NaOH 0,1M + Pi-NaOH 0,5M + Po-NaOH 0,5M; P não lábil = Pi-HCl + P-residual.

A adição de DLS influenciou as formas de P biológico entre os solos somente na camada

subsuperficial (ver Tabela 26). O acúmulo de P biológico foi geralmente maior no solo com maior teor de matéria orgânica. Por outro lado, observou diferença significativa entre os solos com a adição de DLS para a forma de P orgânico total na camada superficial e subsuperficial, onde o solo argiloso apresentou o maior teor de P em comparação ao solo arenoso (ver Tabela 26). Os teores de P geoquímico diferiram entre os solos com a adição de DLS na camada superficial e subsuperficial (ver Tabela 26). Na camada superficial os maiores teores de P foram verificados no solo argiloso em comparação ao solo arenoso. Para a camada subsuperficial o Latossolo mostrou o maior teor de P com $1071,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de P, sendo que o Argissolo apresentou $146,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de P. Assim, pode-se observar que as formas de P biológico e geoquímico entre os solos com a adição de DLS apresentam os menores teores de P no Argissolo em comparação ao Latossolo (ver Tabela 26).

O P inorgânico total com a adição de DLS somente na camada subsuperficial mostrou efeito significativo nos teores de P entre os solos, sendo que os teores de P do solo argiloso foi maior em comparação ao solo arenoso (ver Tabela 26).

Tabela 26. Formas de P biológico, geoquímico, orgânico e inorgânico total entre solos submetidos a adição de DLS por longo período, coletados na camada de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm de profundidade, localizados em regiões do Estado de SC, nos municípios de Campos Novos e Braço do Norte.

Solo – tratamento	Camada (cm)	P	P
		biológico	geoquímico
		mg kg ⁻¹	
LVdf-C/DLS	0-10	248,5 ^{NS}	1191,3 *
PVA-C/DLS	0-10	158,5	335,8
	CV(%)	33,7	11,3
LVdf-C/DLS	10-20	186,1 *	1071,0 *
PVA-C/DLS	10-20	125,6	146,1
	CV(%)	11,0	12,8
LVdf-S/DLS	0-10	343,8 *	464,1 *
PVA-S/DLS	0-10	147,8	196,7
	CV(%)	4,7	6,9
LVdf-S/DLS	10-20	210,7 *	569,5 *
PVA-S/DLS	10-20	88,6	128,3
	CV(%)	12,6	6,1

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre os solos são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférrico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo. P biológico = somatório de P orgânico em Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1M e Po-NaOH 0,5M. P geoquímico = somatório de P inorgânico em Pi-RTA, Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1M, Pi-HCl, Pi-NaOH 0,5M e P-residual.

Tabela 26. Continua.

Solo - tratamento	Camada (cm)	P	
		Orgânico total ⁽¹⁾	Inorgânico total ⁽²⁾
		----- mg kg ⁻¹ -----	
LVdf-C/DLS	0-10	399,6 *	815,2 ^{NS}
PVA-C/DLS	0-10	205,1	987,0
	CV(%)	22,7	12,7
LVdf-C/DLS	10-20	301,6 *	860,3 *
PVA-C/DLS	10-20	158,6	215,2
	CV(%)	8,8	10,4
LVdf-S/DLS	0-10	474,1 *	503,0 ^{NS}
PVA-S/DLS	0-10	265,4	384,4
	CV(%)	11,1	20,4
LVdf-S/DLS	10-20	300,2 ^{NS}	441,5 *
PVA-S/DLS	10-20	215,4	133,3
	CV(%)	20,2	44,5

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de quatro repetições. * = médias na coluna entre os solos são significativo ao nível de probabilidade de 0,05 de acordo com o teste de Tukey. ^{NS} = não significativo ao nível de probabilidade de 0,05. C/DLS = com dejetos líquidos de suínos. S/DLS = sem dejetos líquidos de suínos. Campos Novos = LVdf = Latossolo Vermelho Distroférrico. Braço do Norte = PVA = Argissolo Vermelho Amarelo ⁽¹⁾ = P orgânico total por ignição extraído por Olsen & Sommers (1982). ⁽²⁾ = teor de P total por Digestão (H₂SO₄ concentrado + H₂O₂ 30%) – P orgânico total por ignição.

4.6 CONCLUSÕES

A adição de dejetos líquidos de suínos por longo prazo aumenta o teor das formas de P avaliadas pelo fracionamento de Hedley.

O aumento de P pela adição de dejetos ocorre principalmente nas formas inorgânicas em solos argiloso e arenoso.

O aumento dos teores de P é mais pronunciado na camada superficial, onde os dejetos são aplicados, principalmente em solo arenoso.

Nos solos argilosos, a aplicação de dejetos resulta em aumento do teor de P principalmente em formas de menor labilidade, enquanto nos solos arenosos, pelo menor complexo sortivo, o aumento de P ocorre principalmente nas formas de maior labilidade.

6 REFERÊNCIAS

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.; MAÇÃNEIRO, 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 P 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.

ANDRADE, F. V. MENDONÇA, E. S. ALVAREZ, V. V. H. NOVAIS, R. F. **Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 1003-1011, 2003.

ARAÚJO, M. S. B., SALCEDO, I. H. **Formas preferenciais de acumulação de P em solos cultivados com cana de açúcar na região nordeste** Revista Brasileira Ciência Solo, Viçosa, v. 21, p. 643-650, 1997.

BARNETT, G. M. **Phosphorus forms in animal manure** Bioresource Technology, v. 49, p. 139-147, 1994.

BARROW, N. J. **The description of sorption curves.** European Journal Soil Science, v. 59, p. 900-910, 2008.

BARILLI, J. **Attributtes of an oxisol under pig liquid residue application.** Botucatu. 75p. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, 2005.

BASSO, C. J. **Perdas de nitrogênio e P com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos.** Santa Maria, 125f. Tese de Doutorado, 2003.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.21, p.105-112, 1997.

BECK, M. A.; SANCHES, P. A. **Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a typic paleudult.** Soil Science, Baltimore, v. 34, p. 1424-1431, 1994.

BERG, A. S. & JOERN, B. C **Sorption dynamics of organic and inorganic phosphorus compounds in soil.** Journal of Environmental Quality, v. 35, 2006.

BERWANGER, A. L., CERETTA, C. A., RHEINHEIMER D. S. **Alterações no teor de P no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 2525-2532, 2008.

BOSCHETTI, N. G., QUINTERO, C. E., VIDEZ, R. A. B., GIUFFRE, L. **Cuantificacion de las fracciones organicas e inorganicas de fosforo en suelos de la mesopotamia Argentina.** Ciencia del Suelo, v. 21, 2003.

BRINGHENTI, I. **Mineralogia e gênese dos solos das serras litorâneas do norte catarinense.** Lages, 110 f. CAV/UEDESC, Dissertação de Mestrado, 2010.

BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S. **Preventing phosphorus losses during perchloric acid digestion of sodium bicarbonate soil extracts.** Journal of Science and Food Agriculture, London, v 32, p. 671-674, 1981.

CADE-MENUN, B. J., CARTER, M. R., JAME, D. C. **Phosphorus Forms and Chemistry in the Soil Profile under Long-Term Conservation Tillage: A Phosphorus-31 Nuclear Magnetic Resonance Study.** Journal Environmental Quality. v. 39, p. 1647-1656, 2010.

CADE-MENUN, B. J. **Characterizing phosphorus in environmental and agricultural samples by ^{31}P nuclear magnetic resonance spectroscopy.** Talanta, v. 66, p. 359-371, 2005.

CADE-MENUN, B. J. LIU, C. W. NUNLIST, R. MCCOLL, J. G. **Soil and Litter Phosphorus-31 Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy: Extractants, Metals, and Phosphorus Relaxation Times.** Journal Environmental Quality, v. 31, p. 457-465, 2002.

CASSOL, P. C., et al. **Atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com dejetos suíno e adubo solúvel** Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v.10, n.2, p.103-112, 2011.

CARDOSO, I. M.; VAN DER MEERC, P.; OENEMA, O.; JANSSENA, B. H.; KUYPER, T. W. **Analysis of phosphorus by ^{31}P NMR in Oxisols under agroforestry and conventional coffee systems in Brazil.** Geoderma, v. 112, p. 51-70, 2003.

EPAGRI/CEPA, **síntese anual da agricultura de santa catarina 2012/2013**, ed. Epagri, Acesso disponível: <http://cepa.epagri.sc.gov.br>. 2013.

CERETTA, C. A., et al. **Frações de P no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, p. 593-602, 2010.

CERETTA, C. A., et al. **Dejeto líquido de suínos: I - perdas de nitrogênio e P na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto.** Ciência Rural, v. 35, p. 1296-1304, 2005.

CERETTA, C. A., DURIGON, R., BASSO, C. J., BARCELLOS, L. A. R., VIEIRA, F. C. B. **Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol. 38, p. 729-735, 2003.

CHAPUIS LARDY, L., BROSSARD, M., LOPES ASSAD, M. L., LAURENT, J. Y. **Carbon and phosphorus stocks of clayey Ferralsols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil.** Agriculture, Ecosystems and Environment Journal, v. 92, p. 147-158, 2002.

CHAPUIS LARDY, L., BROSSARD, M., QUIQUAMPOIX, H. **Assessing organic phosphorus status of Cerrado Oxisols (Brazil) using ^{31}P -NMR spectroscopy and phosphomonoesterase activity measurement.** Canadian Journal Soil Science, v. 81, p. 591-601, 2001.

CHEN, C. R., CONDRON, L. M., DAVIS, M. R., HERLOCK, R. R. **Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand.** Forest Ecology and Management, v. 177, 2003.

CHEN, C. R., CONDRON, L. M., DAVIS, M. R., SHERLOCK, R. R. **Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and radiata pine (*Pinus radiata* D. Don.)**. Soil Biology & Biochemistry, v. 34, p. 487-499, 2002.

COSTA, A. C. **Rendimento de milho, atributos químicos e formas do P no solo após nove aplicações anuais de dejetos suíno**. Lages. CAV/UEDESC, Dissertação de Mestrado, 85f. 2011.

CORRÊA, J. **Mineralogia e gênese das principais classes de solos de encostas basálticas do estado de Santa Catarina**. Lages, CAV/UEDESC, Dissertação de Mestrado, 110 f. 2003.

CONDRON, L. M., TURNER, B. L., CADE-MENUN, B. J. **Chemistry and dynamics of soil organic phosphorus**. In: Sims JT, Sharpley AN (eds) Phosphorus: agriculture and the environment. Soil Science Society of America, Madison, p. 87-121, 2005.

CONDRON, L. M., TIESSEN, H. **Interactions of organic phosphorus in terrestrial ecosystems**. In: TURNER, B. L., FROSSARD, E., BALDWIN, D. S. (Ed.). Organic phosphorus in the environment. Oxford: CABI, p. 295-307, 2005.

CONDRON, L. M., DAVIS, M. R., NEWMAN, R. H., CORNFORTH, I. S. **Influence of conifers on the forms of phosphorus in selected New Zealand soils.** *Biology and Fertility of soils*, v. 21, 1996.

CONDRON, L. M., FROSSARD, E., TIESSEN, H., NEWMAN, R. H., STEWART, J. W. B. **Chemical nature of organic phosphorus in cultivated and uncultivated soils under different environmental conditions.** *Journal of Soil Science*, v. 41, 1990.

CONDRON, L. M., GOH, K. M. **Effects of long-term phosphatic fertilizer applications on amounts and forms of phosphorus in soils under irrigated pasture in New Zeland.** *Journal Soil Science*, v. 40, p. 383-395, 1989.

CQFS RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO **Manual de Adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 10^o ed. Porto Alegre: SBCS/NRS, 400 p. 2004.

CONTRERAS, A. Y. L., VALENCIA, I. H., HERNÁNDEZ, D. L. **Fractionation of soil phosphorus in organic amended farms located in savanna sandy soils of Venezuelan Amazonian.** *Biology and Fertility of Soils*, v. 43, p. 771-777, 2007.

COSTA, A. Retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina: avaliação e geração de funções de pedotransferência. CAV/UDESC, Tese de Doutorado, 424f. 2012.

CROSS, A. F., SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. Geoderma, Amsterdam, v. 64, p. 197-214, 1995.

CUNHA, G. M., GAMA-RODRIGUES, A. C., COSTA, G. S., VELLOSO, A. C. X. P orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 667-671, 2007.

DICK, W. A., TABATABAI, M. A. determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. Journal of Environmental Quality, Madison, v. 6, p. 82-85, 1977.

DIETER, D., ELSENBEER, H., TURNER, B. L. Phosphorus fractionation in lowland tropical rainforest soils in central Panama, Catena, v. 82, 2010.

DOOLETTE, A. L., SMERNIK, R. J., DOUGHERTY, W. J. **Overestimation of the importance of phytate in NaOH–EDTA soil extracts as assessed by ^{31}P NMR analyses**, *Organic Geochemistry*, v. 42, p. 955-964, 2011.

DOOLETTE, A. L., SMERNIK, R. J., DOUGHERTY, W. J. **Rapid decomposition of phytate applied to a calcareous soil demonstrated by a solution ^{31}P NMR study**. *European Journal of Soil Science*, v. 61, p. 563-575, August 2010.

DOOLETTE, A. L.; SMERNIK, R. J.; DOUGHERTY, W. J. **Spiking improved solution phosphorus-31 nuclear magnetic resonance identification of soil phosphorus compounds**. *Soil Science Society of America Journal*, v. 73, p. 919-927, 2009.

EBERHARDT, D. N., VENDRAME, P. R. S., BECQUER, T., GUIMARÃES, M. F. **Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do P em latossolos sob pastagens no cerrado** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1009-1016, 2008.

EMBRAPA, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. Brasília, EMBRAPA, 353p. 2013.

EMBRAPA & EPAGRI. **VIII RCC REUNIÃO NACIONAL DE CORRELAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (SANTA CATARINA)**. EMBRAPA, EPAGRI, Santa Catarina, 2008.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CNPS. **Manual de métodos de análise de solos**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 212p. 1997.

FATMA – FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. **Instrução normativa para licenciamento ambiental. FATMA: Instrução normativa nº 11, de 13/12/2004**. Disponível em:<http://www.fatma.sc.gov.br>

FERNANDEZ, R. I. E., NOVAIS, R. F., NUNES, F. N., KER, J. C. **Reversibilidade de P não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química: II - extrações sucessivas do P pela resina de troca aniônica**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, n.6. p. 2319-2330, 2008.

FRIZANO, J. VANN, D. R., JOHNSON, A. H., JOHNSON, C. M. **Labile Phosphorus in Soils of Forest Fallows and Primary Forest in the Bragantina Region, Brazil**. Biotropica, v. 35, p. 2-11, 2003.

GATIBONI, L. C., BRUNETTO, G., RHEINHEIMER, D. S., KAMINSKI, J. **Fracionamento químico das formas de P do solo: usos e limitações. Tópicos em Ciência do Solo.** Editora: SBCS, v. 8, 380 p. 2013.

GATIBONI, L. C., BRUNETTO, G., KAMINSKI, J., RHEINHEIMER, D. S., CERETTA, C. A., BASSO, C. J. **Formas de P no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1753-1761, 2008.

GATIBONI, L. C., KAMINSKI, J., RHEINHEIMER, D. S., FLORES, J. P. C. **Biodisponibilidade de formas de P acumuladas em solo sob sistema plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 691-699, 2007.

GATIBONI, L. C. et al. **Phosphorus forms and availability assessed by ^{31}P -NMR in successive cropped soil.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 36, p. 2625-2640, 2005.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de P do solo às plantas.** Santa Maria: UFSM, 231 p. Tese (Doutorado em Agronomia), 2003.

GIROTTO, E. et al. **Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquido de suínos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 955-965, 2010.

GONÇALVES, G., K., MEURER, E. J. **Frações de P no solo e sua relação com a absorção pelas plantas de arroz irrigado por alagamento em solos do Rio Grande do Sul** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 357-362, 2009.

GUARDINI, R. et al. **Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 93, p. 215-225, 2012a.

GUARDINI, R. et al. **Phosphorus accumulation and pollution potential in a hapludult fertilized with pig manure.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, n.4. p. 1333-1342, 2012b.

GUARDINI, R. **Acúmulo de formas de P em um Argissolo com histórico de aplicações de dejetos de suínos.** Dissertação de Mestrado, UFSC, 2011.

GUERRA, J. G. M., ALMEIDA, D. L., SANTOS, G. A., FERNANDES, M. S. **Conteúdo de P orgânico em amostras de solos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 31, n. 4, p. 291-299, abril, 1996.

GUGGENBERGER, G., CHRISTENSEN, B.T., RUBÆK, G., ZECH, W. **Land-use and fertilization effects on P forms in two European soils: resin extraction and ³¹P-NMR analysis.** European Journal of Soil Science, v. 47, 1996.

HARRISON, A.F. **Soil Organic Phosphorus: a Review of World Literature,** CAB International, Wallingford, UK, 257p. 1987.

HEDLEY, M. J., STEWART, J. W. B., CHAUHAN, B. S. **Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations.** Soil Science Society of American Journal, Madison, v 46, p. 970-976, 1982.

HOUNTIN, J. A., KARAM, A., COUILLARD, D., CESCAS, M. P. **Use of a fractionation procedure to assess the potential for phosphorus movement in a soil profile after 14 years of liquid pig manure fertilization.** Agriculture Ecosystem Environmental, v. 78, p. 77-84, 2000.

IBGE – **Produção da pecuária municipal,** Rio de Janeiro, v. 40, p.1-71, ISSN 0101-4234, 2012.

JOHNSON, A. H., FRIZANO, J., VANN, D. R. **Biogeochemical implications of labile phosphorus in forest soils determined by the Hedley fractionation procedure.** Oecologia, v. 135, p. 487-499, 2003.

KLEINMAN, P. J. A., WOLF, A. M., SHARPLEY, A. N., BEEGLE, D. B., SAPORITO, L. S. **Survey of Water-Extractable Phosphorus in Livestock Manures.** Soil Science Society America Journal, v. 69, p. 701-708, 2005.

LEINWEBER, P., HAUMAIER, L., ZECH, W. **Sequential extractions and ^{31}P -NMR spectroscopy of phosphorus forms in animal manures, whole soils and particle-size separates from a densely populated livestock area in northwest Germany.** Biology and Fertility Soils, v. 25, 1997.

LILIENFEIN, J., WILCKE, W., AYARZA, M.A., VILELA, L., LIMA, A.C., ZECH, W. **Chemical fractionation of phosphorus, sulphur, and molybdenum in Brazilian savannah Oxisols under different land use.** Geoderma, v. 96, 2000.

LIVESTOCK. In: ESTADOS UNIDOS. **Department of Agriculture. PSD: production, supply and distribution online.** Reports. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture - USDA, 2014. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/> Acesso em: janeiro. 2014.

LOURENZI, C. R. et al. **Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 37, p. 157-167, 2013.

MACHADO, M. I. C. S., BRAUNER, J. L., VIANNA, A. C. T. **Formas de P na camada arável de solos do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.17, n.3, p. 331-336, 1993.

MATOS, E. S., MENDONÇA, E. S., VILLANI, E. M. A., LEITE, L. F. C., GALVÃO, J. C. C. **Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p. 625-632, 2006.

MCDOWELL, R. W., SCOTT, J. T., STEWART, I., CONDRON, L. M. **Influence of aggregate size on phosphorus changes in a soil cultivated intermittently: analysis by ^{31}P nuclear magnetic resonance.** Biology and Fertility Soils, v. 43, 2007.

MEHRA, O. P., JACKSON, M. L. **Iron oxide removal from soils by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate.** Clays & Clay minerals, v.7, p.317-327, 1960.

MOTTA, P. E. F., CURI, N., SIQUEIRA, J. O., VAN RAIJ, B., FURTINI NETO, A. E., LIMA, J. M. **Adsorção e formas de P em latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, p. 349-359, 2002.

MURPHY, J., RILEY, J. P. **A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters.** *Analytica Chimica Acta*, Oxford, v 27, p. 31-36, 1962.

NEGASSA, W., LEINWEBER, P. **How does the Hedley sequential phosphorus fractionation reflect impacts of land use and management on soil phosphorus: A review.** *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 172, p. 305-325, 2009.

NEWMAN, B. H., TATE, K. R. **Phosphorus characterization by ^{31}P nuclear magnetic resonance.** *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 11, p. 835-842, 1980.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo** Viçosa – MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. ed. SBCS, 1017 p., 2007.

NOVAIS, R. F., SMYTH, T. J. **P em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. 399 p., 1999.

O'HALLORAN, I. P. **Effect of tillage and fertilization on inorganic and organic soil phosphorus.** *Canadian Journal of Soil Science*, v. 73, p. 359-369, 1993.

OLIVEIRA, F. H. T., NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H., CANTARUTTI, R. B., BARROS, N. F. **Fertilidade do Solo no Sistema Plantio Direto. Tópicos em Ciência do solo**, Editora: SBCS, v. 2, p. 692, 2002.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 188p. 1993.

OLSEN, S. R., SOMMERS, L. E., Phosphorus. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, Q. R. (Eds.) **Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties**. 2. ed. SSSA, Madison, p. 403-430, 1982.

PAES SOBRINHO, J. B. **Mineralogia da fração argila de solos das serras do leste catarinense**. Lages, CAV/UEDESC, Dissertação de Mestrado, 68 f. 2005.

PARFITT, R. L. **Anion adsorption by soils and soil materials**. Advances in Agronomy, San Diego, v 30, p. 01-46, 1978.

PARTELLI, F. L., BUSATO, J. G., VIEIRA, H. D., VIANA, A. P., CANELLAS, L. P. **Qualidade da matéria orgânica e distribuição do P no solo de lavouras orgânicas de café Conilon** Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.7, p. 2065-2072, out, 2009.

PAGLIARI, P. H., LABOSKI, C. A. M. **Investigation of the Inorganic and Organic Phosphorus Forms in Animal Manure** Journal of Environmental Quality, v. 41, p. 901-910, 2012.

PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., MCMAHON, T. A. **Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification.** Hydrology and Earth System Sciences, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PELIZZA, T. R. et al. **Coberturas do solo e crescimento da macieira na implantação de um pomar em sistema orgânico de produção.** Revista Brasileira Fruticultura, Jaboticabal, v. 31, n. 3, Sept. 2009.

RHEINHEIMER, D. S., GATIBONI, L. C., KAMINSKI, J. **Fatores que afetam a disponibilidade do P e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto.** Ciência Rural, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

RHEINHEIMER, D. S., ANGHINONI, I., CONTE, E. **Sorção de P em função do teor inicial e de sistemas de manejo de solos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 41-49, 2003.

RHEINHEIMER, D. S., ANGHINONI, I., FLORES, A. **Organic and inorganic phosphorus as characterized by ^{31}P nuclear magnetic resonance in subtropical soils under management systems.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 33, p. 1853-1871, 2002.

RHEINHEIMER, D., ANGHINONI, I. **Distribuição do P inorgânico em sistemas de manejo de solo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, 2001.

ROYER, I., SIMARD, R. R., BARNETT, G. M., CLUIS, D., ANGERS D. A. **Long-term effects of liquid hog manure on the phosphorus status of a silt loam cropped to corn** Canadian journal of Soil Science, Canada, 2003.

SAS Institute Inc[®] **SAS Ver. 9.1 . 3** SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA. Lic. UDESC, 2003.

SCHERER, E. E., NESI, C. N., MASSOTTI, Z. **Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 1375-1383, 2010.

SCHERER, E. E., BALDISSERA, I. T. NESI, C. N.
Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos
Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p. 123-131, 2007.

SCHMIDT, J. P., BUOL, S. W., KAMPRATH, E. J. **Soil phosphorus dynamics during 17 years of continuous cultivation: A method to estimate long-term P availability.** Geoderma, v. 78, p. 59-70, 1997.

SHARPLEY, A. MOYER, B. **Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall.** Journal of Environmental Quality, v. 29, n. 5, sept-oct. 2000.

SILVEIRA, M. M. L., ARAÚJO, M. S. B., SAMPAIO, E. V. S. B. **Distribuição de P em diferentes ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p.281-291, 2006.

SILVERSTEIN, R. M., BASSLER, G., MORRIL, T. C. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos.** Rio de Janeiro, Guanabara-Koogan, 387, p.1994.

SOLOMON, D., LEHMANN, J., MAMO, T., FRITZSCHE, F., ZECH, W. **Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands.** Geoderma, v. 105, 2002.

SOUZA, R. F., FAQUIN, V., TORRES, R. F., BALIZA, D. P. **Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de P em solos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, n. 6, 2006, p. 975-983, 2006.

SOUZA, R. F., FRAQUIN, V., ANDRADE, A.T., TORRES, P. R. F. **Formas de P em solos sob influência da calagem e adubação orgânica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 1535-1544, 2007.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions.** 2. ed. John Willey, New York, USA. 496p. 1994.

TARANTO, M. T., ADAMS, M. A., POLGLASE, P. J. **Sequential fractionation and characterisation (31P-NMR) of phosphorus-amended soils in Banksia integrifolia (L.f.) woodland and adjacent pasture.** Soil Biology & Biochemistry, v. 32, p. 169-177, 2000.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BISSANI, C. A., BOHNEN, H., VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174 p. 1995.

TIESSEN, H., STEWART, J. W. B., COLE, C. V. **Pathways of Phosphorus Transformations in Soils of Differing Pedogenesis** Journal Paper no. R361 of the Saskatchewan Inst. of Pedology, University of Saskatchewan, Mar. 1984.

TIESSEN, H., SALCEDO, I. H., SAMPIO, E. V. S. B.
Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil.
Agriculture Ecosystem & Environmental, v. 38, 1992.

TOKURA, A. M. et al. **Formas de P em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo.**
Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, out. 2002.

TURNER, B. L., ENGELBRECHT, B. M. J. **Soil organic phosphorus in lowland tropical rain forests**
Biogeochemistry, v. 103, p. 297-315, 2011.

TURNER, B. L. **Soil organic phosphorus in tropical forests: an assessment of the NaOH–EDTA extraction procedure for quantitative analysis by solution ³¹P NMR spectroscopy** *European Journal of Soil Science*, v. 59, p. 453-466, June 2008.

TURNER, B. L., RICHARDSON, A. E., MULLANEY, E. J.
Inositol phosphates in soil: amounts, forms and significance of the phosphorylated inositol stereoisomers. In: *Inositol Phosphates: Linking Agriculture and the Environment*, p. 186-206, CABI, Wallingford, 2007.

TURNER, B. L., HAYGARTH, P. M. **Phosphatase activity in temperate pasture soils: Potential regulation of labile organic phosphorus turnover by phosphodiesterase activity**, *Science of the Total Environment*, v. 344, p. 27-36, 2005.

TURNER, B. L., MAHIEU, N., CONDRON, L. M. **Phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectral assignments of phosphorus compounds in soil NaOH-EDTA extracts**. *Soil Science Society of America Journal*, v. 67, 2003.

TURNER, B. L., MAHIEU, N., CONDRON, L. M. **The phosphorus composition of temperate pasture soils determined by NaOH-EDTA extraction and solution ^{31}P NMR spectroscopy** *Organic Geochemistry*, v. 34, p. 1199-1210, 2003a.

TURNER, B. L., MCKELVIE, I. D. **A novel technique for the Pre-Concentration and Extraction of Inositol Hexakisphosphate from Soil Extracts with determination by Phosphorus-31 Nuclear Magnetic Resonance**. *Journal Environmental Quality*, v. 31, p. 466-470, march-april, 2002.

USEPA - *United States Environmental Protection Agency*. **Methods of chemical analysis for water and wastes**. Cincinnati: USEPA, 1971.

VEIGA, M., PANDOLFO, C. M., BALBINOT JUNIOR, A. A., SPAGNOLLO, E. **Chemical attributes of a Hapludox soil after nine years of pig slurry application** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.47, n.12, p.1766-1773, dez. 2012.

VINCENT, A. G., TURNER, B. L., TANNER, E. V. J. **Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist forest.** European Journal of Soil Science, February, v. 61, p. 48-57, 2010.

WALBRIDGE, M. R. **Phosphorus availability in acidic organic soils of the lower North Carolina coastal plain.** Ecology, v. 72, p. 2083-2100, 1991.

WALKER, T. W., SYERS, J. K. **The fate of phosphorus during pedogenesis.** Geoderma, Netherlands, v 15, p. 01-19, 1976.

YAN'AN TONG, FAN HONGZHU. **Phosphorus absorption and accumulation in apple.** Better Crops with Plant Food v. 91, p. 4-6, 2007.

ZAMUNER, E. C., PICONE, L. I., ECHEVERRIA, H. E. **Organic and inorganic phosphorus in Mollisol soil under different tillage practices** Soil & Tillage Research, v. 99, p.131-138, 2008.

7 APÊNDICES

APÊNDICE A. Teores de P inorgânico e orgânico das frações do fracionamento químico de Hedley em Neossolos do Estado de SC.

P	Prof.	Pi-RTA	Pi-bic	Po-bic	Pi-0,1	Po-0,1	Pi-HCl	Pi-0,5	Po-0,5	P-Res
	(cm)	----- mg kg ⁻¹ -----								
P1	0-28	1,8	3,0	7,8	10,0	20,3	0,8	2,6	7,2	68,7
	28-80	0,9	1,5	2,3	8,6	14,8	0,8	1,6	1,1	84,2
	80-170	1,1	2,7	1,3	9,2	15,5	1,0	0,9	10,4	10,6
	170-190	0,9	2,0	1,9	14,8	18,5	1,9	7,1	11,9	139,0
P2	0-23	9,3	12,7	3,7	38,3	33,4	6,1	11,6	30,6	68,0
	23-73	6,5	9,5	5,5	30,9	35,9	4,4	10,7	16,6	115,9
	73-140	12,1	20,6	3,0	41,4	41,4	6,3	8,3	7,4	31,4
	140-220	3,1	5,9	4,0	21,8	33,0	2,1	11,6	10,3	156,8
P3	0-15	4,0	9,8	3,3	11,0	25,2	1,7	0,0	8,6	25,4
	15-32	2,2	7,5	4,1	12,7	11,4	1,0	0,0	15,8	13,7
	32-44	1,1	3,4	3,5	6,1	15,8	1,0	0,0	13,5	56,8
	50-82	1,0	3,1	4,9	9,1	29,4	0,6	0,0	20,1	19,9
P4	0-20	11,0	10,1	16,7	49,7	155,8	5,7	142,6	29,2	1040,1
P5	0-40	3,7	3,0	8,6	27,5	87,0	1,7	16,6	18,9	383,7
	40-70	2,6	3,2	5,7	30,8	51,1	1,7	19,7	32,8	232,3
	70-90	1,7	3,9	4,7	37,0	44,8	0,8	30,2	14,5	247,3
P6	0-42	4,8	5,2	8,9	25,1	44,1	1,3	11,9	14,7	375,0
	42-83	3,6	2,1	8,3	27,0	32,7	2,5	11,9	6,2	241,2
P7	0-30	21,2	18,6	51,2	33,2	231,1	5,7	102,4	59,8	301,3

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de três repetições. P = Perfil. Prof. = Profundidade. P1 = Neossolo Quartzârenico Órtico típico. P2 = Neossolo Quartzârenico Órtico típico, P3 = Neossolo Quartzârenico Órtico típico. P4 = Neossolo Litólico Chernossólico típico. P5 = Neossolo Litólico Distrófico típico. P6 = Neossolo Litólico Húmico típico. P7 = Neossolo Litólico Húmico típico. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-bic e Po-bic= P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5mol L⁻¹; Pi-0,1 e Po-0,1 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-0,5 e Po-0,5 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-res = P residual extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

APÊNDICE B. Teores de P inorgânico e orgânico, das frações do fracionamento químico de Hedley em Latossolos do Estado de SC.

P	Prof.	Pi-RTA	Pi-bic	Po-bic	Pi-0,1	Po-0,1	Pi-HCl	Pi-0,5	Po-0,5	P-Res
	(cm)	----- mg kg ⁻¹ -----								
P8	0-21	3,8	6,0	18,5	16,6	195,6	1,7	72,3	29,2	675,1
	21-34	0,6	1,6	8,0	23,6	165,2	1,8	52,1	19,7	563,7
	34-66	0,5	1,4	6,2	27,2	160,4	1,4	58,6	18,9	754,9
	66-86	0,6	2,1	2,4	37,2	65,9	1,2	68,3	15,2	659,6
	86-130	0,5	1,2	12,0	49,7	65,5	4,6	71,8	24,1	720,4
	130-159	0,6	1,6	1,2	50,4	27,4	1,2	76,0	7,9	747,2
P9	0-14	3,0	2,6	11,7	38,7	154,2	1,7	77,8	27,0	699,3
	14-45	1,2	1,7	10,1	37,6	153,1	1,6	78,0	28,2	602,8
	45-70	1,5	1,6	7,5	52,6	62,2	1,1	68,8	15,0	621,3
	70-97	2,1	2,7	7,9	70,4	66,4	1,3	89,8	27,5	645,6
	97-120	1,3	3,3	2,7	65,1	24,1	0,8	76,9	3,9	647,5
	120-172	1,6	4,3	2,7	70,5	13,0	0,7	70,2	14,0	602,8
P10	0-14	11,7	6,2	15,0	133,7	165,7	4,8	92,6	50,8	744,0
	14-32	3,8	3,2	14,9	55,4	145,6	2,7	114,6	8,8	802,2
	32-58	3,2	5,0	7,9	130,6	75,8	5,6	103,0	36,1	772,8
	58-106	2,7	6,3	12,2	131,6	58,3	4,9	134,0	26,2	851,3
	106-154	1,9	4,6	9,2	124,8	51,8	4,1	99,5	24,9	709,4
P11	0-11	5,5	4,6	15,5	50,8	128,1	8,5	116,0	21,9	402,6
	11-35	1,4	1,4	11,0	20,4	49,5	3,3	88,2	25,6	411,3
	35-50	0,4	0,8	4,8	23,7	93,4	4,8	64,5	20,4	382,6
	50-71	0,3	0,8	6,9	31,7	81,0	10,0	65,8	14,6	340,6
	71-98	0,2	0,9	5,2	47,0	50,0	6,3	75,3	14,8	441,7
	98-220	0,7	3,0	2,1	68,8	20,5	6,0	155,9	12,0	409,6
P12	0-15	7,7	2,1	5,6	28,3	51,6	1,9	58,4	30,6	465,4
	15-26	4,8	0,8	4,2	36,8	34,0	1,1	59,6	8,4	325,4
	26-50	2,6	0,0	6,0	34,8	21,2	4,2	51,7	10,7	434,6
	50-70	0,7	0,0	3,5	35,8	30,5	0,4	58,4	4,7	358,3
	78-126	1,1	0,0	4,4	57,9	31,9	1,0	55,6	20,7	360,2
P13	0-24	6,7	3,1	7,4	14,2	35,7	0,8	19,7	8,0	138,0
	24-45	1,3	0,0	5,8	14,9	23,3	0,6	14,5	2,9	162,4
	45-100	0,8	0,0	3,5	10,0	20,8	0,5	14,5	11,8	139,7
	100-126	0,5	0,0	2,9	12,8	24,4	0,3	15,5	22,8	72,4

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de três repetições. P = Perfil. Prof. = Profundidade. P8 = Latossolo Bruno Distrófico nitossólico húmico. P9 = Latossolo Vermelho Distrófico Húmico. P10 = Latossolo Vermelho Eutroférrico típico. P11 = Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico. P12 = Latossolo Amarelo Distrófico argissólico. P13 = Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-bic e Po-bic = P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹; Pi-0,1 e Po-0,1 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-0,5 e Po-0,5 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-res = P residual extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

APÊNDICE C. Teores de P inorgânico e orgânico, das frações do fracionamento químico de Hedley em Chernossolos do Estado de SC.

P	Prof.	Pi-RTA	Pi-bic	Po-bic	Pi-0,1	Po-0,1	Pi-HCl	Pi-0,5	Po-0,5	P-Res
	(cm)	----- mg kg ⁻¹ -----								
P14	0-12	13,1	10,6	8,7	52,3	104,7	6,6	122,5	25,5	396,7
	12-32	7,1	6,3	12,8	37,5	110,9	4,6	109,9	20,5	395,0
	32-42	5,5	5,2	15,0	37,9	148,8	2,3	85,3	35,5	513,6
	42-53	4,1	6,9	11,2	36,1	131,2	1,5	80,8	21,6	402,1
	53-84	1,8	7,8	1,9	29,8	37,4	0,9	56,4	33,1	445,3
P15	0-34	9,6	11,9	3,2	26,9	118,8	2,0	91,4	49,7	549,2
	34-70	5,7	14,2	3,3	22,8	128,7	1,4	80,2	58,1	630,1
	70-100	1,8	9,7	2,4	25,1	25,2	0,6	50,6	24,3	473,7
P16	0-28	13,1	14,7	3,2	22,9	107,0	3,3	111,9	19,5	447,1
	28-50	1,0	6,9	2,7	19,9	46,8	0,4	55,4	22,6	325,3
	50-80	1,7	3,1	2,5	15,4	19,4	0,4	45,1	7,7	173,8
	80-150	0,4	2,3	2,4	22,9	6,6	1,1	47,8	8,2	157,5

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de três repetições. P = Perfil. Prof. = Profundidade. P14 = Chernossolo Argilúvico Férrico típico. P15 = Chernossolo Háptico Férrico típico. P16 = Chernossolo Argilúvico Férrico típico. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-bic e Po-bic = P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹; Pi-0,1 e Po-0,1 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-0,5 e Po-0,5 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-res = P residual extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

APÊNDICE D. Teores de P inorgânico e orgânico, das frações do fracionamento químico de Hedley em Cambissolos do Estado de SC.

P	Prof.	Pi-RTA	Pi-bic	Po-bic	Pi-0,1	Po-0,1	Pi-HCl	Pi-0,5	Po-0,5	P-Res
	(cm)	----- mg kg ⁻¹ -----								
P17	0-10	19,6	12,7	17,7	35,2	103,8	1,3	67,8	28,4	286,2
	10-29	3,3	5,6	10,4	14,1	87,6	1,6	51,4	32,8	186,9
	29-38	1,4	4,2	8,2	16,2	80,2	5,6	55,9	26,1	226,2
	38-52	0,9	3,4	9,9	18,6	68,3	3,4	50,9	39,7	204,7
P18	0-18	9,4	8,2	10,4	43,0	55,8	3,2	38,7	16,8	126,7
	18-30	2,5	1,9	10,6	26,6	42,6	1,5	25,6	13,8	97,7
	30-55	2,1	3,9	8,0	30,2	31,9	0,7	34,2	32,6	113,9
	55-90	1,8	2,6	7,9	87,9	30,2	1,6	60,0	24,6	193,7
P19	90-120	3,4	5,6	2,1	110,1	13,2	1,6	67,1	9,4	162,7
	0-34	3,2	2,4	15,7	45,4	96,0	2,3	86,3	24,0	564,8
P20	34-70	2,3	3,4	10,3	114,5	49,6	1,7	88,3	16,7	556,3
	33-20	12,1	17,7	32,9	14,7	291,2	9,0	150,6	80,3	386,7
	20-0	4,7	12,5	21,0	11,3	201,5	4,2	106,9	52,9	412,3
	0-8	0,3	3,8	9,7	9,8	166,5	3,1	71,6	50,1	367,5
	8-20	0,4	1,2	9,2	26,5	104,7	3,2	112,0	24,1	427,6
	20-50	0,3	0,6	8,2	26,9	58,3	3,7	57,8	22,3	342,5
P21	50-86	0,3	0,2	7,8	30,7	64,8	3,4	52,9	27,1	320,4
	0-35	13,3	5,9	17,5	22,5	110,6	1,5	35,5	14,8	91,8
	35-52	0,8	1,0	5,0	13,5	52,6	0,5	20,5	8,4	76,3
	52-70	0,2	0,8	2,1	14,9	13,1	0,4	19,4	3,4	67,0
P22	70-115	0,3	0,5	3,8	17,7	5,6	0,5	19,0	5,1	67,2
	0-30	8,9	3,8	9,5	16,5	80,8	0,7	29,9	11,3	286,8
	30-61	3,2	2,3	7,6	13,2	50,2	2,1	30,3	14,6	247,2
	61-75	0,7	0,8	4,7	10,9	40,5	1,9	33,2	6,6	305,4
	75-100	0,4	0,2	3,1	11,4	14,0	1,9	32,3	9,3	343,8

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de três repetições. P = Perfil. Prof. = Profundidade. P17 = Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico. P18 = Cambissolo Háplico Alítico típico. P19 = Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico. P20 = Cambissolo Húmico Distrófico organossólico. P21 = Cambissolo Húmico Alumínico típico. P22 = Cambissolo Húmico Alumínico típico. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-bic e Po-bic = P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5mol L⁻¹; Pi-0,1 e Po-0,1 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-0,5 e Po-0,5 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-res = P residual extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

APÊNDICE E. Teores de P inorgânico e orgânico, das frações do fracionamento químico de Hedley em Argissolos do Estado de SC.

P	Prof.	Pi-RTA	Pi-bic	Po-bic	Pi-0,1	Po-0,1	Pi-HCl	Pi-0,5	Po-0,5	P-Res
	(cm)	mg kg ⁻¹								
P23	0-30	11,3	13,9	9,6	53,1	23,2	4,7	24,0	9,6	71,5
	30-47	5,4	5,4	2,8	27,5	35,6	2,6	9,8	8,5	38,9
	47-66	6,6	4,1	2,3	23,0	35,5	1,4	17,3	24,9	85,0
	66-90	2,8	3,3	2,7	22,0	25,5	1,0	11,3	12,7	61,4
	90-107	1,2	1,8	2,9	14,8	47,2	0,2	12,3	9,1	95,6
	107-133	0,7	1,5	1,7	14,1	32,8	0,5	19,3	6,5	68,5
P24	0-10	4,2	3,7	4,0	22,9	48,1	1,7	33,9	5,6	39,3
	10-23	2,6	2,6	2,9	21,7	52,9	1,4	19,9	16,5	104,3
	23-33	0,9	3,5	2,5	14,5	26,4	2,2	10,6	12,6	51,1
	33-60	1,0	1,6	3,0	15,3	41,8	1,1	19,1	14,8	129,2
	60-90	0,4	1,3	3,3	18,6	49,6	4,1	16,7	14,5	154,6
	90-122	0,4	0,6	2,9	18,0	22,4	2,8	25,2	5,8	150,3
	122-150	0,2	1,1	2,6	19,9	31,9	2,4	26,5	4,5	143,8
P25	0-13	5,3	3,5	2,0	18,2	21,9	1,4	4,3	18,6	115,8
	13-25	2,2	2,5	2,8	13,0	19,3	0,4	6,2	18,1	129,4
	25-57	0,9	2,5	2,2	11,7	27,7	0,5	3,8	11,9	166,2
	57-104	0,3	1,9	5,1	11,2	33,7	0,5	8,4	12,0	170,8
	104-139	0,4	1,3	2,7	16,9	41,4	1,2	5,7	7,4	177,8
P26	0-20	8,8	4,9	1,7	11,5	35,5	1,2	15,4	9,9	115,5
	20-51,5	0,5	0,9	4,0	11,2	19,7	0,9	8,2	11,1	153,1
	51,5-72	0,2	1,4	1,2	18,3	24,0	0,8	2,6	21,8	131,5
	72-100	0,3	0,5	3,5	10,4	12,5	0,6	3,3	24,1	114,6
	100-150	0,5	1,0	2,8	9,4	9,1	1,3	11,5	10,4	124,8
P27	0-15	8,4	8,5	0,6	21,7	121,7	5,0	51,7	35,3	216,0
	15-28	2,6	4,7	3,4	23,2	99,5	4,1	57,7	30,5	303,5
	28-105	0,9	4,7	1,2	33,5	29,1	1,1	46,4	15,1	388,2

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de três repetições. P = Perfil. Prof. = Profundidade. P23 = Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. P24 = Argissolo Vermelho Distrófico abruptico. P25 = Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico. P26 = Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico. P27 = Argissolo Amarelo Distrófico típico. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-bic e Po-bic = P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5mol L⁻¹; Pi-0,1 e Po-0,1 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-0,5 e Po-0,5 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-res = P residual extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

APÊNDICE E. Continua.

P	Prof.	Pi-RTA	Pi-bic	Po-bic	Pi-0,1	Po-0,1	Pi-HCl	Pi-0,5	Po-0,5	P-Res	
	(cm)	----- mg kg ⁻¹ -----									
P28	0-12	17,5	7,5	20,2	50,1	119,5	7,6	53,7	23,3	219,6	
	12-32	9,9	2,8	11,9	44,0	56,1	2,4	33,4	25,2	264,5	
	32-65	2,0	0,7	3,6	26,4	16,7	1,0	23,2	10,0	353,6	
	65-90	1,9	0,8	4,9	29,4	16,3	1,7	29,2	7,3	219,6	
	90-162	0,5	0,5	5,4	34,7	30,2	1,4	23,1	24,5	215,4	
	162-275	1,0	1,0	1,9	36,8	19,0	2,1	27,8	28,6	281,5	
P29	0-25	9,1	4,9	7,5	20,7	67,5	1,0	26,5	17,4	89,5	
	25-52	1,5	0,0	5,5	27,2	26,4	2,0	21,7	15,2	192,1	
	52-97	1,4	0,0	4,6	38,7	35,0	2,3	31,2	7,2	226,4	
	97-125	1,1	0,1	3,7	66,9	24,7	1,1	41,2	12,9	208,6	
P30	0-20	9,9	2,0	9,8	26,4	56,3	7,1	53,2	24,7	106,4	
	20-32	2,3	0,0	2,9	24,6	18,5	2,2	17,0	7,6	90,8	
	32-46	0,6	0,0	2,9	19,4	8,5	1,1	12,0	6,5	80,7	
	46-80	0,6	0,0	2,3	15,2	10,8	0,4	16,5	15,7	96,3	
	80-122	1,0	0,7	0,3	8,7	13,5	0,4	15,7	10,8	158,8	
P31	0-25	23,4	17,5	2,6	30,5	196,9	10,3	152,7	83,8	428,3	
	25-50	3,6	4,4	1,8	59,6	55,0	0,6	77,9	14,6	334,9	
	50-112	2,8	4,6	2,0	67,4	18,2	1,2	84,5	14,5	219,9	

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de três repetições. P = Perfil. Prof. = Profundidade. P28 = Argissolo Vermelho-Amarelo Aluminico típico. P29 = Argissolo Amarelo Alítico típico. P30 = Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico. P31 = Argissolo Vermelho Eutroférico chernossólico. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-bic e Po-bic = P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹; Pi-0,1 e Po-0,1 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-0,5 e Po-0,5 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-res = P residual extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

APÊNDICE F. Teores de P inorgânico e orgânico, das frações do fracionamento químico de Hedley em Nitossolos do Estado de SC.

P	Prof.	Pi-RTA	Pi-bic	Po-bic	Pi-0,1	Po-0,1	Pi-HCl	Pi-0,5	Po-0,5	P-Res
	(cm)	mg kg ⁻¹								
P32	0-8	6,9	3,8	10,0	64,7	36,8	3,6	79,3	19,0	574,3
	8-23	3,8	2,6	29,4	54,8	42,2	5,3	61,5	31,9	527,1
	23-43	2,0	2,6	25,0	43,0	27,0	4,4	50,9	17,8	524,0
	43-65	0,7	1,3	14,9	47,4	11,5	4,4	40,1	42,2	527,0
	65-81	0,7	1,3	10,3	77,8	65,3	3,3	52,4	14,4	463,3
	81-130	1,3	1,1	4,8	56,9	20,0	1,5	35,2	38,7	449,0
P33	0-15	10,0	5,0	28,2	90,0	83,2	2,5	113,3	37,4	493,0
	15-32	3,7	2,8	14,9	55,0	40,0	2,4	80,4	10,5	485,2
	32-64	1,0	1,9	35,0	37,3	88,4	2,2	63,2	17,9	568,3
	64-90	0,7	2,0	19,4	50,1	28,4	2,5	59,2	42,4	477,6
	90-152	1,0	2,0	13,9	68,6	30,3	6,8	62,4	74,8	464,8
P34	0-4	8,8	5,4	22,3	58,8	32,4	3,8	91,1	13,8	637,8
	4-19	5,4	3,5	15,5	55,7	34,4	3,5	90,6	57,5	691,3
	19-28	2,8	2,6	12,3	41,1	33,7	4,3	62,2	5,5	706,4
	28-46	0,9	1,7	7,1	32,4	35,5	6,8	55,5	18,8	601,7
	46-74	0,9	2,2	18,0	40,8	25,4	4,2	58,7	64,5	603,6
	74-145	1,6	3,1	2,1	109,7	16,2	3,0	81,3	21,5	689,2
P35	0-17	3,6	2,4	11,3	30,6	41,7	1,5	94,3	51,7	386,4
	17-43	0,3	0,7	9,4	15,8	34,1	14,1	74,2	25,1	284,1
	43-63	0,2	0,5	7,4	16,6	32,9	8,9	67,3	15,2	309,4
	63-94	0,3	0,7	6,2	27,0	21,3	16,3	60,6	14,9	379,0
	94-127	0,4	1,5	4,9	34,2	18,5	18,3	68,4	9,5	328,8
P36	0-16	7,7	3,6	22,0	33,2	60,2	8,4	56,8	74,9	362,7
	16-32	3,9	2,5	21,6	22,2	44,9	3,6	103,1	14,8	413,4
	32-43	1,3	1,5	16,7	15,6	28,0	7,8	72,7	9,0	414,3
	43-62	0,6	1,1	6,0	18,2	34,2	16,7	59,1	14,8	379,6
	62-87	0,4	0,8	7,6	34,7	49,1	41,2	51,8	9,4	386,0
	87-106	0,4	0,7	3,0	55,2	41,5	3,1	56,3	24,6	329,8
	106-137	0,4	1,3	4,0	64,7	26,3	5,2	39,1	45,7	398,1

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de três repetições. P = Perfil. Prof. = Profundidade. P32 = Nitossolo Bruno Aluminico rúbico. P33 = Nitossolo Bruno Distroférrico típico. P34 = Nitossolo Bruno Distrófico rúbico. P35 = Nitossolo Bruno Distrófico típico. P36 = Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-bic e Po-bic= P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5mol L⁻¹; Pi-0,1 e Po-0,1 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-0,5 e Po-0,5 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-res = P residual extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

APÊNDICE F. Continua.

P	Prof.	Pi-RTA	Pi-bic	Po-bic	Pi-0,1	Po-0,1	Pi-HCl	Pi-0,5	Po-0,5	P-Res
	(cm)	----- mg kg ⁻¹ -----								
P37	0-13	3,6	2,6	18,7	49,7	81,6	5,8	106,8	36,4	510,3
	13-26	2,3	2,4	15,0	42,1	80,6	4,6	88,0	9,7	529,1
	26-43	0,7	1,8	18,1	30,0	66,3	5,3	69,2	73,9	545,6
	43-84	0,7	1,7	16,0	68,7	52,4	7,9	80,5	30,7	579,6
	84-134	0,7	1,9	9,8	67,2	33,5	3,8	85,7	25,0	401,2
P38	0-21	8,1	3,8	12,6	77,9	71,6	3,5	113,0	12,8	703,7
	21-34	1,3	1,4	8,8	27,0	56,8	1,7	64,1	37,9	730,2
	34-66	0,7	1,3	5,4	28,0	34,2	5,1	62,3	20,4	649,6
	66-86	0,5	0,7	7,0	42,9	39,2	2,9	53,9	22,2	644,6
	86-130	2,0	1,7	8,1	70,6	13,2	3,7	77,7	53,6	581,5
	130-159	0,4	1,7	15,0	49,8	47,0	1,3	58,3	17,9	619,3
P39	0-21	8,6	5,8	8,5	80,0	126,2	4,4	121,8	13,6	412,7
	21-35	4,6	4,3	10,5	58,2	85,5	3,3	106,9	20,7	376,5
	35-50	3,5	3,3	9,4	53,3	145,8	1,8	78,8	18,1	384,9
	50-84	1,1	2,8	6,9	58,6	138,6	2,2	73,2	8,5	390,9
	84-150	0,8	2,5	5,8	88,4	37,9	2,4	83,5	8,6	351,2
P40	0-30	4,8	5,8	8,9	36,7	151,6	2,3	95,8	22,7	421,1
	30-43	1,2	6,4	1,5	44,0	49,1	1,0	61,4	18,3	375,3
	43-75	0,8	0,7	3,3	51,5	19,6	1,6	50,7	18,7	210,3
	75-150	0,3	2,3	1,9	35,1	18,9	1,7	40,7	1,9	118,0
	150-190	1,2	4,3	5,1	46,8	61,4	2,0	62,3	18,9	342,7

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de três repetições. P = Perfil. Prof. = Profundidade. P37 = Nitossolo Bruno Distroférico típico. P38 = Nitossolo Bruno Distroférico húmico latossólico rúbrico. P39 = Nitossolo Vermelho Eutróférico chernossólico. P40 = Nitossolo Vermelho Eutróférico típico. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-bic e Po-bic = P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹; Pi-0,1 e Po-0,1 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-0,5 e Po-0,5 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-res = P residual extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

APÊNDICE F. Conclusão.

P	Prof.	Pi-RTA	Pi-bic	Po-bic	Pi-0,1	Po-0,1	Pi-HCl	Pi-0,5	Po-0,5	P-Res
	(cm)	----- mg kg ⁻¹ -----								
P41	0-21	2,5	2,0	11,2	51,1	91,7	2,3	104,5	10,6	417,5
	21-45	4,2	2,5	13,7	64,0	64,1	1,4	113,8	10,0	434,1
	45-67	0,9	2,0	4,7	66,5	58,2	1,6	86,6	12,5	453,4
	67-86	1,0	2,7	3,2	100,7	29,4	2,6	97,8	30,6	416,4
	86-119	2,0	3,0	4,0	128,1	46,6	3,2	103,3	15,9	439,3
	119-155	1,7	2,9	2,6	138,6	98,2	3,4	129,4	26,1	401,1
	155-200	1,7	4,3	1,1	147,4	47,2	2,9	114,3	12,5	397,0
P42	0-28	7,8	3,5	10,6	69,2	157,1	2,3	114,8	10,0	446,2
	28-50	1,3	2,3	6,7	120,3	74,3	4,9	120,0	14,7	437,9
	50-100	2,0	5,4	3,1	173,0	46,3	3,7	167,1	17,0	496,8
	100-155	1,2	5,4	2,4	170,2	17,9	6,7	132,0	7,5	521,2
P43	0-30	2,5	1,6	7,7	30,9	72,0	1,6	81,4	16,8	509,1
	30-78	0,4	1,4	4,9	60,8	13,9	1,2	58,6	8,4	395,9
	78-160	0,1	0,8	3,0	69,8	9,8	2,3	59,1	10,8	357,1
P44	0-45	2,8	1,8	18,5	19,3	128,5	1,3	38,1	25,6	270,7
	45-85	0,4	1,6	8,5	16,9	77,2	0,4	31,2	8,4	254,7
	85-102	0,4	0,9	5,3	30,2	73,1	3,8	45,7	9,4	265,3
	102-120	1,4	0,7	4,8	57,0	47,7	4,1	60,0	11,5	329,9
	120-147	2,0	1,4	3,6	73,8	22,2	2,8	72,8	19,5	369,7

Fonte: produção do próprio autor. Valores são médias de três repetições. P = Perfil. Prof. = Profundidade. P41 = Nitossolo Bruno Distroférico húmico. P42 = Nitossolo Bruno Distroférico típico. P43 = Nitossolo Vermelho Eutrófico típico. P44 = Nitossolo Vermelho Aluminoso húmico. Pi-RTA = P inorgânico extraído pela resina; Pi-bic e Po-bic = P inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹; Pi-0,1 e Po-0,1 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi-0,5 e Po-0,5 = P inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi-HCl = P inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P-res = P residual extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂.

APÊNDICE G: Principais atributos químicos, físicos e mineralógicos das amostras dos solos, de horizonte superficial e subsuperficial de Neossolos do Estado de SC.

Perfil	pH ¹	Prem ¹ -- mg kg ⁻¹ --	K ¹ --	Ca+Mg ¹	Al ¹	H+Al ¹ cmol _c kg ⁻¹	CTCpH7 ¹	V ¹ % -----	m ¹
P1A *	4,7	468,7	0,1	1,2	0,0	6,6	7,9	16,1	0,0
P1B **	4,6	374,4	0,1	1,1	0,0	8,5	9,7	13,4	0,0
P2A	5,1	477,5	0,2	1,6	0,8	8,3	10,1	17,5	29,9
P2B	5,1	505,5	0,0	1,0	0,8	6,9	7,9	13,3	45,3
P3A	4,3	558,2	0,0	1,2	0,4	6,6	7,8	16,6	20,8
P3B	4,7	492,9	0,0	0,7	0,0	4,6	5,3	13,1	0,0
P4A	5,5	206,1	0,4	18,7	0,1	4,0	23,2	82,6	0,5
P5A	4,5	285,1	0,1	0,2	0,8	5,1	5,5	6,5	69,4
P5B	4,7	298,8	0,2	0,1	0,4	11,7	12,0	2,8	54,5
P6A	4,4	277,4	0,2	0,7	1,1	8,1	9,0	9,8	56,0
P7A	4,8	27,5	0,3	1,4	5,9	24,2	25,9	6,7	77,2

Fonte: produção do próprio autor. ¹ = pH em água. Prem = P remanescente. CTC pH7 = capacidade de troca de cátions a pH 7,0. V = saturação por bases. m = saturação por alumínio. Al = alumínio trocável; Ca + Mg = cálcio + Mg trocável; K = potássio trocável. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). * = horizonte superficial constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presentes. P1, P2, P3 = Neossolo Quartzârenico Órtico típico, P4 = Neossolo Litólico Chernossólico típico, P5 = Neossolo Litólico Distrófico típico, P6, P7 = Neossolo Litólico Húmico típico.

APÊNDICE G: Continua.

Perfil	c.o.	Areia ²	Silte ²	Argila ²	Fe _{ox} ¹	Fe _d ¹	Al _d ¹
				g kg ⁻¹			
P1A *	4,0	943	21	36	0,5	1,0	0,8
P1B **	2,1	920	27	53	0,7	1,3	1,0
P2A	7,4	919	23	58	0,8	1,2	0,8
P2B	3,5	930	24	46	0,9	3,9	0,5
P3A	8,3	966	17	17	0,6	1,7	0,7
P3B	6,0	950	28	22	2,3	3,3	0,8
P4A	44,1	227	491	281	4,9	76,0	5,0
P5A	6,4	789	77	134	0,5	4,0	1,5
P5B	4,3	761	77	163	0,6	41,8	1,5
P6A	9,6	778	81	141	0,6	5,2	1,6
P7A	87,1	136	461	403	8,3	26,5	10,9

Fonte: produção do próprio autor. ¹ = c.o = carbono orgânico. Fe_{ox} = ferro extraído por oxalato de amônio. Fe_d, Al_d = ferro e alumínio extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). (2) = determinado pelo método da pipeta EMBRAPA (1997). * = horizonte superficial constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presentes. P1, P2, P3 = Neossolo Quartzârenico Órtico típico, P4 = Neossolo Litólico Chernossólico típico, P5 = Neossolo Litólico Distrófico típico, P6, P7 = Neossolo Litólico Húmico típico.

APÊNDICE H: Principais atributos químicos, físicos e mineralógicos das amostras dos solos, de horizonte superficial e subsuperficial de Latossolos do Estado de SC.

Perfil	pH ¹	Prem ¹ -- mg kg ⁻¹ --	K ¹	Ca+Mg ¹	Al ¹ ----- cmol _c kg ⁻¹ -----	H+A ¹	CTCpH7 ¹	V ¹ ----- % -----	m ¹
P8A *	4,6	5,6	0,1	0,3	4,8	18,4	18,9	2,2	92,1
P8B **	4,7	4,3	0,0	0,2	3,4	10,0	10,2	2,4	93,3
P9A	4,9	29,5	0,2	6,6	1,6	14,5	21,4	29,3	29,0
P9B	4,7	9,6	0,1	1,0	1,1	8,9	10,0	10,3	48,1
P10A	5,3	347,4	0,7	8,0	0,6	6,9	15,5	54,5	7,4
P10B	5,1	51,2	0,4	5,1	0,6	5,0	10,5	52,0	9,8
P11A	4,6	35,9	0,1	1,2	3,7	14,1	15,4	8,1	75,6
P11B	4,9	3,5	0,1	0,4	2,0	7,5	7,9	5,4	81,3
P12A	4,7	138,0	0,3	1,3	1,1	5,6	7,3	21,1	44,5
P12B	4,8	54,4	0,1	0,2	1,3	3,6	4,0	10,9	74,4
P13A	4,5	108,8	0,1	0,2	1,2	4,5	5,0	10,2	70,6
P13B	4,8	64,3	0,1	0,0	0,9	2,4	2,7	10,9	76,1

Fonte: produção do próprio autor. ¹ = pH em água. Prem = P remanescente. CTC pH7 = capacidade de troca de cátions a pH 7,0. V = saturação por bases. m = saturação por alumínio. Al = alumínio trocável; Ca + Mg = cálcio + Mg trocável; K = potássio trocável. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presentes. P8 = Latossolo Bruno Distrófico nitossólico húmico, P9 = Latossolo Vermelho Distroférrico Húmico, P10 = Latossolo Vermelho Eutroférrico típico, P11 = Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico, P12 = Latossolo Amarelo Distrófico argissólico, P13 = Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico.

APÊNDICE H: Continua.

Perfil	c.o. ¹	Areia ²	Silte ²	Argila ² g kg ⁻¹	Fe _{ox} ¹	Fe _d ¹	Al _d ¹
P8A *	31,9	54	254	692	4,0	36,0	11,3
P8B **	14,5	55	250	694	6,0	40,3	8,0
P9A	20,6	65	170	766	3,9	83,8	10,0
P9B	9,6	60	159	781	3,8	68,4	5,9
P10A	21,4	65	212	723	4,6	77,4	6,7
P10B	10,4	48	193	759	5,2	84,1	6,7
P11A	30,9	19	238	743	3,8	67,9	10,4
P11B	13,3	12	151	837	3,6	71,0	13,6
P12A	19,4	364	227	409	1,3	34,5	4,8
P12B	11,3	243	181	576	1,4	41,5	6,6
P13A	20,4	405	261	335	1,7	17,3	3,1
P13B	7,1	346	245	409	1,3	15,5	3,5

Fonte: produção do próprio autor. ¹ = c.o = carbono orgânico. Fe_{ox} = ferro extraído por oxalato de amônio. Fe_d, Al_d = ferro e alumínio extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). (2) = determinado pelo método da pipeta EMBRAPA (1997). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presentes. P8 = Latossolo Bruno Distrófico nitossólico húmico, P9 = Latossolo Vermelho Distroférico Húmico, P10 = Latossolo Vermelho Eutroférico típico, P11 = Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico, P12 = Latossolo.

APÊNDICE I: Principais atributos químicos, físicos e mineralógicos das amostras dos solos, de horizonte superficial e subsuperficial de Chernossolos do Estado de SC.

Perfil	pH ¹	Prem ¹	K ¹	Ca+Mg ¹	Al ¹	H+Al ¹	CTCpH7 ¹	V ¹	m ¹
		-- mg kg ⁻¹ --		-----		cmol _c kg ⁻¹ -----		---- % ----	
P14A*	5,7	169,5	1,9	16,5	0,4	2,4	21,9	88,9	2,0
P14B**	5,7	97,9	1,9	30,4	0,6	2,1	36,0	94,1	1,9
P15A	6,2	188,9	3,1	23,6	0,2	2,3	30,1	92,1	0,6
P15B	6,2	32,1	4,1	23,4	0,4	2,0	30,4	93,4	1,3
P16A	6,0	204,4	1,1	22,0	0,0	3,9	27,0	85,7	0,0
P16B	5,9	54,4	0,2	18,9	0,1	2,4	21,5	88,9	0,5

Fonte: produção do próprio autor. ¹ = pH em água. Prem = P remanescente. CTC pH7 = capacidade de troca de cátions a pH 7,0. V = saturação por bases. m = saturação por alumínio. Al = alumínio trocável; Ca + Mg = cálcio + Mg trocável; K = potássio trocável. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presentes. P14, P 16 = Chernossolo Argilúvico Férrico típico, P15 = Chernossolo Háplico Férrico típico.

APÊNDICE I: Continua.

Perfil	c.o. ¹	Areia ²	Silte ²	Argila ²	Fe _{ox} ¹	Fe _d ¹	Al _d ¹
	----- g kg ⁻¹ -----						
P14A*	15,8	261	520	219	5,6	70,9	2,8
P14B**	9,7	211	435	354	5,9	75,2	3,0
P15A	18,7	235	485	280	5,0	74,3	3,9
P15B	8,5	175	287	537	2,7	75,9	4,7
P16A	40,7	235	480	285	4,0	65,9	4,2
P16B	8,7	119	326	555	2,7	78,4	5,9

Fonte: produção do próprio autor. ¹ c.o = carbono orgânico. Fe_{ox} = ferro extraído por oxalato de amônio. Fe_d, Al_d = ferro e alumínio extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). (2) = determinado pelo método da pipeta EMBRAPA (1997). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presente. P14, P 16 = Chernossolo Argilúvico Férrico típico, P15 = Chernossolo Háptico Férrico típico.

APÊNDICE J: Principais atributos químicos, físicos e mineralógicos das amostras dos solos, de horizonte superficial e subsuperficial de Cambissolos do Estado de SC.

Perfil	pH ¹	Prem ¹	K ¹	Ca+Mg ¹	Al ¹	H+Al ¹	CTCpH7 ¹	V ¹	m ¹
		--mg kg ⁻¹ --		----- cmol _c kg ⁻¹ -----				----- % -----	
P17A	4,9	15,2	0,2	0,8	3,2	15,5	16,4	5,1	80,0
P17B	5,1	23,8	0,0	0,3	2,2	9,9	10,3	3,4	86,3
P18A	4,4	289,8	0,1	0,5	4,8	12,1	12,7	5,0	88,1
P18B	4,5	74,2	0,1	0,6	5,8	13,1	13,8	5,5	88,4
P19A	4,9	40,8	0,9	3,2	2,4	10,3	14,3	28,2	37,6
P19B	5,2	23,2	0,5	6,8	0,5	6,2	13,5	53,8	6,1
P20A	4,9	5,9	0,3	2,3	3,3	32,9	35,6	6,8	61,4
P20B	5,2	3,3	0,0	0,6	1,9	7,9	8,6	8,1	71,8
P21A	4,5	21,5	0,2	0,3	0,5	19,5	20,0	2,4	51,0
P21B	4,5	62,6	0,1	0,1	0,6	13,1	13,3	1,7	74,8
P22A	4,5	135,3	0,1	0,5	4,0	12,3	13,0	4,9	86,3
P22B	4,3	89,6	0,1	0,1	4,4	9,8	10,0	2,4	95,0

Fonte: produção do próprio autor. ¹ = pH em água. Prem = P remanescente. CTC pH7 = capacidade de troca de cátions a pH 7,0. V = saturação por bases. m = saturação por alumínio. Al = alumínio trocável; Ca + Mg = cálcio + Mg trocável; K = potássio trocável. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presente. P 17 = Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico. P18 = Cambissolo Háplico Alítico típico, P19 = Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico, P20 = Cambissolo Húmico Distrófico organossólico, P21, P22= Cambissolo Húmico Alumínico típico.

APÊNDICE J: Continua.

Perfil	c.o. ¹	Areia ²	Silte ²	Argila ²	g kg ⁻¹	Fe _{ox} ¹	Fe _d ¹	Al _d ¹

P17A*	49,7	41	550	409	6,3	28,9	14,3	
P17B**	22,8	49	516	435	11,5	33,4	12,7	
P18A	14,0	248	482	270	2,1	12,7	1,9	
P18B	6,0	208	360	433	1,5	13,3	3,1	
P19A	20,9	86	297	617	3,5	153,0	9,2	
P19B	14,8	83	267	651	3,7	131,5	9,6	
P20A	105,3	308	344	348	13,1	43,7	21,8	
P20B	16,8	288	256	457	4,5	66,2	15,0	
P21A	37,3	255	349	397	3,0	16,0	5,9	
P21B	9,5	216	264	520	1,6	16,3	3,9	
P22A	22,2	355	322	323	1,3	19,9	3,5	
P22B	6,6	329	339	331	0,8	20,0	2,8	

Fonte: produção do próprio autor. ¹ c.o = carbono orgânico. Fe_{ox} = ferro extraído por oxalato de amônio. Fe_d, Al_d = ferro e alumínio extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). (2) = determinado pelo método da pipeta EMBRAPA (1997). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presente. P17 = Cambissolo Húmico Distrófico saprolítico. P18 = Cambissolo Háplico Alítico típico, P19 = Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico, P20 = Cambissolo Húmico Distrófico organossólico, P21, P22= Cambissolo Húmico Aluminico típico.

APÊNDICE K: Principais atributos químicos, físicos e mineralógicos das amostras dos solos, de horizonte superficial e subsuperficial de Argissolos do Estado de SC.

Perfil	pH ¹	Prem ¹ -- mg kg ⁻¹ --	K ¹	Ca+Mg ¹	Al ¹	H+Al ¹	CTCpH7 ¹	V ¹ ----- % -----	m ¹
				----- cmol _c kg ⁻¹ -----					
P23A*	4,4	409,9	0,1	0,1	0,6	2,0	2,3	14,7	64,0
P23B**	4,6	394,4	0,1	0,1	0,8	2,6	3,0	12,2	69,8
P24A	5,2	330,0	0,1	1,8	0,6	2,4	4,6	39,2	38,2
P24B	4,5	11,8	0,1	0,1	1,5	5,4	5,8	7,1	78,9
P25A	4,9	304,2	0,2	1,5	0,6	2,8	4,6	37,4	28,9
P25B	4,6	228,8	0,1	0,1	0,9	2,9	3,3	11,3	67,4
P26A	4,3	273,4	0,2	2,5	5,0	11,8	14,5	18,8	64,9
P26B	4,4	89,2	0,1	1,3	5,5	7,9	9,3	16,1	79,5
P27A	5,3	414,2	0,3	2,3	1,2	6,9	9,6	28,2	29,8
P27B	5,9	222,2	0,3	1,8	1,2	6,4	8,5	25,2	36,6
P28A	4,3	275,2	0,3	4,8	3,7	9,4	14,6	35,5	41,4
P28B	4,3	79,0	0,1	1,9	5,7	9,2	11,2	17,6	73,9
P29A	5,0	396,7	0,2	6,2	2,2	9,2	15,7	41,2	25,0
P29B	4,4	71,6	0,1	4,5	5,6	10,2	14,9	31,2	54,8
P30A	5,0	232,7	0,4	3,5	3,3	11,9	15,9	25,1	45,3
P30B	4,8	39,2	0,1	4,1	5,2	9,2	13,6	31,4	56,5
P31A	6,3	265,3	1,1	20,4	0,1	1,9	23,4	91,7	0,4
P31B	6,6	19,9	0,2	15,1	0,0	1,3	16,6	92,3	0,1

Fonte: produção do próprio autor. ¹ = pH em água. Prem = P remanescente. CTC pH7 = capacidade de troca de cátions a pH 7,0. V = saturação por bases. m = saturação por alumínio. Al = alumínio trocável; Ca + Mg = cálcio + Mg trocável; K = potássio trocável. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presente. P23 = Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, P24 = Argissolo Vermelho Distrófico abruptico, P25 = Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico, P26, P28 = Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico, P27 = Argissolo Amarelo Distrófico típico, P29 = Argissolo Amarelo Alítico típico, P30 = Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico, P31 = Argissolo Vermelho Eutroférico chernossólico.

APÊNDICE K: Continua.

Perfil	c.o. ¹	Areia ²	Silte ²	Argila ²	Fe _{ox} ¹	Fe _d ¹	Al _d ¹
	g kg ⁻¹						
P23A*	12,2	717	143	140	0,8	5,7	0,7
P23B**	8,6	585	168	247	1,1	8,8	1,3
P24A	10,6	470	359	171	2,2	9,7	2,1
P24B	9,7	238	176	587	3,2	38,5	8,6
P25A	9,5	704	123	172	1,3	10,1	3,0
P25B	3,2	611	163	226	0,8	15,3	0,9
P26A	26,1	540	194	266	2,5	12,9	2,8
P26B	6,0	319	111	570	1,2	13,8	4,3
P27A	23,4	504	286	211	4,8	11,9	3,8
P27B	11,0	404	303	294	6,4	25,4	0,6
P28A	23,0	452	224	325	5,9	17,9	3,4
P28B	7,9	317	142	541	1,6	22,6	4,1
P29A	20,7	449	344	206	3,4	9,3	5,5
P29B	9,0	218	159	624	2,0	35,2	6,5
P30A	35,2	254	324	423	3,5	10,4	1,8
P30B	8,1	180	231	589	1,3	22,7	3,9
P31A	48,7	222	504	274	4,3	69,9	4,4
P31B	9,5	104	299	597	4,7	73,5	4,9

Fonte: produção do próprio autor. ¹ c.o = carbono orgânico. Fe_{ox} = ferro extraído por oxalato de amônio. Fe_d, Al_d = ferro e alumínio extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). (2) = determinado pelo método da pipeta EMBRAPA (1997). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presente. P23 = Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, P24 = Argissolo Vermelho Distrófico abruptico, P25 = Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico, P26, P28 = Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico, P27 = Argissolo Amarelo Distrófico típico, P29 = Argissolo Amarelo Alítico típico, P30 = Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico, P31 = Argissolo Vermelho Eutroférico chernossólico.

APÊNDICE L: Principais atributos químicos, físicos e mineralógicos das amostras dos solos, de horizonte superficial e subsuperficial de Nitossolos do Estado de SC.

Perfil	pH ¹	Prem ¹ -- mg kg ⁻¹ --	K ¹	Ca+Mg ¹	Al ¹	H+Al ¹	CTCpH7 ¹	V ¹ ----- % -----	m ¹
				-----	cmol _c kg ⁻¹ -----				
P32A*	4,6	104,5	0,1	4,6	2,6	11,0	15,7	29,4	37,1
P32B**	4,5	13,4	0,0	0,8	4,9	9,9	10,8	7,9	85,2
P33A	4,9	58,6	0,2	1,3	2,0	10,2	11,6	12,1	59,0
P33B	4,9	9,1	0,0	0,3	1,7	7,4	7,7	4,8	83,1
P34A	4,5	31,7	0,2	0,5	4,0	14,6	15,3	4,1	86,6
P34B	4,9	9,3	0,0	0,3	2,5	7,7	8,0	4,4	86,2
P35A	5,1	20,8	0,1	1,7	2,5	11,8	13,6	12,9	60,4
P35B	5,2	10,1	0,0	0,5	2,1	7,3	7,8	7,4	78,1
P36A	4,7	21,8	0,1	1,6	3,4	13,8	15,5	10,1	70,8
P36B	4,7	10,9	0,0	0,3	2,4	7,8	8,1	3,8	88,5
P37A	5,1	4,9	0,2	2,8	2,6	12,6	15,6	19,1	47,7
P37B	5,3	2,9	0,1	1,0	3,1	10,1	11,2	9,3	73,5
P38A	5,1	24,3	0,1	7,0	1,4	9,5	16,6	39,8	23,4
P38B	4,5	3,9	0,0	1,0	3,3	7,9	8,9	11,6	76,0

Fonte: produção do próprio autor. ¹ = pH em água. Prem = P remanescente. CTC pH7 = capacidade de troca de cátions a pH 7,0. V = saturação por bases. m = saturação por alumínio. Al = alumínio trocável; Ca + Mg = cálcio + Mg trocável; K = potássio trocável. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). (2) = determinado pelo método da pipeta EMBRAPA (1997). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presente. P32 = Nitossolo Bruno Alumínico rúbrico, P33, P37, = Nitossolo Bruno Distroférico típico, P34 = Nitossolo Bruno Distrófico rúbrico, P35 = Nitossolo Bruno Distrófico típico, P36, P38 = Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbrico.

APÊNDICE L: Continua.

Perfil	c.o. ¹	Areia ²	Silte ²	Argila ²	Fe _{ox} ¹	Fe _d ¹	Al _d ¹
				g kg ⁻¹			
P32A*	23,9	56	236	708	1,7	21,8	8,1
P32B**	10,6	37	167	796	0,8	15,9	9,2
P33A	29,1	117	302	582	2,5	68,2	10,0
P33B	12,4	109	249	642	1,2	50,0	9,6
P34A	36,8	36	330	634	2,1	56,0	13,2
P34B	15,0	26	240	733	1,2	63,8	13,1
P35A	29,4	106	290	604	1,9	72,5	12,1
P35B	15,7	80	268	651	1,1	21,7	12,1
P36A	31,9	23	308	669	2,5	26,0	12,3
P36B	12,8	19	183	798	1,5	30,6	9,4
P37A	36,1	140	397	464	4,8	51,1	19,1
P37B	14,5	129	279	592	4,9	51,4	17,4
P38A	24,8	82	258	660	2,4	25,3	10,2
P38B	10,1	64	209	727	2,1	15,5	7,0

Fonte: produção do próprio autor. ¹ c.o = carbono orgânico. Fe_{ox} = ferro extraído por oxalato de amônio. Fe_d, Al_d = ferro e alumínio extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). (2) = determinado pelo método da pipeta EMBRAPA (1997). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presente. P32 = Nitossolo Bruno Alumínico rúbico, P33, P37, = Nitossolo Bruno Distróférico típico, P34 = Nitossolo Bruno Distrófico rúbico, P35 = Nitossolo Bruno Distrófico típico, P36, P38 = Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico rúbico.

APÊNDICE L. Continuação.

Perfil	pH ¹	Prem ¹ -- mg kg ⁻¹ --	K ¹	Ca+Mg ¹	Al ¹	H+Al ¹ cmol _c kg ⁻¹	CTCpH7 ¹	V ¹	m ¹
P39A*	5,8	150,3	1,4	12,8	0,2	2,0	16,2	87,6	1,1
P39B**	5,2	31,2	0,8	7,8	0,4	2,9	11,5	74,5	5,4
P40A	5,9	141,2	0,6	14,8	0,0	4,0	19,3	79,5	0,0
P40B	5,7	19,2	0,2	10,9	0,9	3,4	14,5	76,3	7,7
P41A	4,5	14,4	0,1	2,1	3,2	11,9	14,1	15,3	61,0
P41B	5,0	1,8	0,1	0,9	1,3	4,2	5,2	20,2	47,6
P42A	4,7	228,0	0,5	6,5	1,0	8,2	15,3	46,0	12,3
P42B	4,6	32,2	0,1	1,9	3,1	7,8	9,7	20,2	61,1
P43A	5,5	85,5	0,1	7,1	0,2	3,2	10,4	70,0	2,0
P43B	5,4	4,3	0,1	4,9	0,9	3,5	8,5	58,5	14,6
P44A	4,7	8,9	0,1	0,3	8,7	17,3	17,6	1,8	96,4
P44B	4,6	11,1	0,0	0,1	7,1	10,9	11,0	1,4	97,9

Fonte: produção do próprio autor. ¹ = pH em água. Prem = P remanescente. CTC pH7 = capacidade de troca de cátions a pH 7,0. V = saturação por bases. m = saturação por alumínio. Al = alumínio trocável; Ca + Mg = cálcio + Mg trocável; K = potássio trocável. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presente. P39 = Nitossolo Vermelho Eutrófico chernossólico, P40 = Nitossolo Vermelho Eutrófico típico, P41 = Nitossolo Bruno Distroférico húmico, P42 = Nitossolo Bruno Distroférico típico, P43 = Nitossolo Vermelho Eutrófico típico, P44 = Nitossolo Vermelho Aluminoso húmico.

APÊNDICE L. Conclusão.

Perfil	c.o. ¹	Areia ²	Silte ²	Argila ²	Fe _{ox} ¹	Fe _d ¹	Al _d ¹
	g kg ⁻¹						
P39A*	18,7	197	383	420	3,5	73,7	5,3
P39B**	12,1	82	247	671	3,2	86,7	8,7
P40A	41,7	113	464	423	3,1	74,7	7,5
P40B	8,5	64	339	598	2,0	79,8	6,1
P41A	17,8	120	237	643	2,9	153,0	8,4
P41B	6,7	136	219	645	4,2	125,4	6,2
P42A	30,2	37	354	609	3,3	144,4	7,3
P42B	9,9	29	237	734	3,7	144,1	6,9
P43A	16,7	113	330	557	2,6	87,0	6,1
P43B	7,8	78	233	689	2,1	159,0	5,8
P44A	31,9	213	301	486	3,1	39,9	9,0
P44B	12,4	169	169	662	3,2	41,8	5,3

Fonte: produção do próprio autor. ¹ c.o = carbono orgânico. Fe_{ox} = ferro extraído por oxalato de amônio. Fe_d, Al_d = ferro e alumínio extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato. (1) = Metodologia de análise descrita por Tedesco et al. (1995). (2) = determinado pelo método da pipeta EMBRAPA (1997). * = horizonte superficial foi constituído pelo horizonte A, AB, AC e suas subdivisões quando presentes. ** = Horizonte subsuperficial constituído pelo horizonte BA, B, C suas subdivisões quando presente. P39 = Nitossolo Vermelho Eutrófico chernossólico, P40 = Nitossolo Vermelho Eutrófico típico, P41 = Nitossolo Bruno Distroférrico húmico, P42 = Nitossolo Bruno Distroférrico típico, P43 = Nitossolo Vermelho Eutrófico típico, P44 = Nitossolo Vermelho Alumínico húmico.

Apêndice M. Teores de ferro e Alumínio extraível por ditionito + citrato + bicarbonato e por oxalato de amônio em amostras de Cambissolo Húmico coletadas de 0 – 10 cm de profundidade em agroecossistemas na região do Planalto Sul Catarinense.

Agroecossistema	Al _{DCB} *	Al _{ox} *	Fe _{DCB} *	Fe _{ox} *
	----- g kg ⁻¹ -----			
Florestamento de Pinus	18,5 a	3,3 a	106,3 a	4,4 ab
Pomar na linha	13,0 b	2,0 b	80,8 b	2,6 b
Pomar na entrelinha	12,9 b	2,1 b	80,6 b	4,2 ab
Campo nativo	13,8 b	3,5 a	90,5 b	5,4 a

Valores são médias de três repetições. * = significativo ao nível de probabilidade de 0.05 de acordo com o teste de Tukey. Valores com letras diferentes na coluna são significativo ao nível de probabilidade de 0.05. Al_{DCB} e Fe_{DCB} = alumínio e ferro extraível por ditionito + citrato + bicarbonato. Al_{ox} e Fe_{ox} = alumínio e ferro extraível por oxalato de amônio.

8 ANEXOS

ANEXO A. FRACIONAMENTO DO P DO SOLO (Hedley et al. (1982), com as modificações de Condrón & Goh (1989) e (Gatiboni et al. 2013). Adaptado de Gatiboni, 2003.

SOLUÇÕES:

NaHCO_3 0,5 mol l^{-1} : Pesar 42,00 g de NaHCO_3 para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H_2O destilada e deionizada. Ajustar o pH a 8,5 com o uso de NaOH ou HCl . Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume. Preparar a solução imediatamente antes do uso.

NaCl 0,5 mol l^{-1} : Pesar 29,25 g de NaCl para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H_2O destilada e deionizada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

NaOH 0,1 mol l^{-1} : Pesar 4,00 g de NaOH para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H_2O destilada e deionizada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

HCl 1 mol l^{-1} : Adicionar 84 ml de HCl conc. em Becker de 1000 ml contendo 700 ml de H_2O destilada e deionizada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

NaOH 0,5 mol l^{-1} : Pesar 20,00 g de NaOH para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H_2O destilada e deionizada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) pesar 0,5 gramas de solo para tubo de centrífuga com tampa rosca;
- b) adicionar 10 ml de água destilada e deionizada;
- c) adicionar 1 lamina de RTA preparada segundo apêndice B;
- d) agitar por 16 horas no "end-over-end" (rotação de 33 rpm);
- e) retirar a RTA do tubo com auxílio de uma pinça;
- f) lavar o excesso de solo da RTA com jato d'água (pisceta);
- g) colocar a RTA em recipiente com tampa contendo 10 ml de HCl 0,5 mol l⁻¹;
- h) deixar em repouso por 90 min (com a tampa aberta);
- i) agitar por 30 min em agitador horizontal;
- j) retirar a RTA com auxílio de pinça e recuperá-la conforme Apêndice B;
- k) centrifugar o solo + água à 4000 rpm por 10 min e descartar o sobrenadante;
- l) determinar Pi no extrato de HCl 0,5 mol l⁻¹ (Apêndice C);
- m) adicionar 10 ml de NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹;
- n) agitar com vortex para soltar o solo do fundo do tubo;
- o) agitar por 16 horas no "end-over-end";
- p) centrifugar à 4000 rpm por 10 min;
- q) reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E);
- r) adicionar 05 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ com cuidado para não mexer o solo;
- s) centrifugar à 4000 rpm por 4 min e adicionar o sobrenadante ao extrato;
- t) adicionar 10 ml de NaOH 0,1 mol l⁻¹;
- u) agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;

- v) agitar por 16 horas no "end-over-end";
- w) centrifugar à 4000 rpm por 10 min;
- x) reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E);
- y) adicionar 05 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ com cuidado para não mexer o solo;
- z) centrifugar à 4000 rpm por 4 min e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior;
- aa) adicionar 10 ml de HCl 1,0 mol l⁻¹;
- bb) agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;
- cc) agitar por 16 horas no "end-over-end";
- dd) centrifugar à 4000 rpm por 10 min;
- ee) reservar o sobrenadante para análise de Pi (Apêndice C);
- ff) adicionar 05 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ com cuidado para não mexer o solo;
- gg) centrifugar à 4000 rpm por 4 min e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior;
- hh) adicionar 10 ml de NaOH 0,5 mol l⁻¹;
- ii) agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo;
- jj) sonificar as amostras.
- kk) agitar por 16 horas no "end-over-end";
- ll) centrifugar à 4000 rpm por 10 min;
- mm) reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E);
- nn) adicionar 05 ml de NaCl 0,5 mol l⁻¹ com cuidado para não mexer o solo;
- oo) centrifugar à 4000 rpm por 4 min e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior;
- pp) secar o solo em estufa à 65°C e digerir o solo conforme apêndice F.

ANEXO B: SATURAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE RESINAS TROCADORAS DE ÂNIONS (adaptado de Miola, 1995). Adaptado de Gatiboni, 2003.

1) PREPARO DA RTA

a) Lavagem com HCl 0,5 mol l⁻¹;

- contato com 500 ml de HCl mol l⁻¹ por 10 min , jogar fora o líquido;

- contato com 500 ml de HCl mol l⁻¹ por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

- contato com 500 ml de HCl mol l⁻¹ por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

b) Lavagem com água destilada

- lavar com bastante H₂O destilada e deionizada e descartar o líquido;

- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

c) Saturação com NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹

- contato com 500 ml de NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹ por 10 min , jogar fora o líquido;

- contato com 500 ml de NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹ por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

- contato com 500 ml de NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹ por 120 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

d) Lavagem do excesso de NaHCO₃ 0,5 mol l⁻¹ com água destilada e deionizada

- lavar com bastante H₂O destilada e deionizada e descartar o líquido;

- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

2) EXTRAÇÃO DO P DO SOLO

- Passos "a" a "k" do fracionamento de P do solo (Apêndice A).

3) RECUPERAÇÃO DA RTA

- submeter a RTA aos passos 1a e 1b do preparo da RTA;

- estocar a RTA em água destilada

Observações: a) quando a RTA estocada passou pelo processo de recuperação no dia anterior, no novo preparo da RTA, esses passos não precisam ser repetidos.

b) o NaHCO₃ deve ser preparado na hora do uso e o pH deve ser regulado à 8,5 com uso de NaOH ou HCl.

ANEXO C: DETERMINAÇÃO DE P EM EXTRATOS
ÁCIDOS DO SOLO (Murphy & Riley, 1977).
Adaptado de Gatiboni, 2003.

SOLUÇÕES:

Solução A: dissolver 15,35 g de $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ com 200 ml de H_2O destilada em Becker de 500 ml. Dissolver 0,3511 g de $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ com 100 ml de H_2O destilada em Becker de 200 ml. Colocar 300 ml de H_2O destilada em becker de 1000 ml e adicionar lentamente 178 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml, adicionar as soluções de molibdato de amônio e antimoniato de potássio e ajustar o volume com H_2O destilada.

Solução B: dissolver 1,356 g $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (ácido ascórbico) com 100 ml de solução A em balão volumétrico. Esta solução deve ser preparada no momento do uso.

$\text{NaOH } 10 \text{ mol l}^{-1}$: dissolver 400 g de NaOH em 600 ml de H_2O destilada em Becker de 1000 ml. Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e ajustar o volume com H_2O destilada. Armazenar em frasco plástico.

p-nitrofenol 0,25%: pesar 0,25 g de p-nitrofenol e dissolver em 100 ml de H_2O destilada em balão volumétrico. Armazenar em geladeira em frasco escuro.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

a) pipetar uma alíquota do extrato para copo de cafezinho;

- b) adicionar H₂O destilada e deionizada para atingir volume de 3 ml;
- c) adicionar uma gota de p-nitrofenol 0,25%;
- d) neutralizar a solução com NaOH 10 mol l⁻¹;
- e) adicionar 0,5 ml de solução B;
- f) ler em espectrofotômetro a absorbância em 882 nm após 30 minutos.

ANEXO D: DETERMINAÇÃO DE P INORGÂNICO EM EXTRATOS ALCALINOS DO SOLO (Dick & Tabatabai, 1977). Adaptado de Gatiboni, 2003.

SOLUÇÕES:

Solução A: dissolver 8,80 g de $C_6H_8O_6$ (ácido ascórbico) e 41,00 g de ácido tricloroacético com 400 ml de H_2O destilada em Becker de 500 ml. Transferir para balão volumétrico de 500 ml e ajustar o volume com H_2O destilada e deionizada. Esta solução deve ser preparada no momento do uso.

Solução B: dissolver 6,20 g de $(NH_4)Mo_7O_{24}.4H_2O$ com 400 ml de H_2O destilada e deionizada em Becker de 500 ml. Transferir para balão volumétrico de 500 ml e ajustar o volume com H_2O destilada e deionizada.

Solução C: dissolver 29,40 g de citrato de sódio e 26,00 g de arsenito de sódio com 800 ml de H_2O destilada e deionizada em Becker de 1000 ml. Adicionar 50 ml de ácido acético glacial (99%). Transferir para balão volumétrico de 1000 ml e ajustar o volume com H_2O destilada.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) adicionar 5 ml de solução A em copo de cafezinho;
- b) adicionar imediatamente uma alíquota de extrato alcalino;
- c) adicionar imediatamente 1 ml de solução B;
- d) adicionar imediatamente 2,5 ml de solução C;
- e) completar o volume até 12,5 ml;

f) ler em espectrofotômetro a absorbância em 700 *nm* após 15 minutos.

ANEXO E: DIGESTÃO DOS EXTRATOS ALCALINOS DO SOLO (extraídos com NaOH e NaHCO₃) PARA ANÁLISE DO P TOTAL (USEPA, 1971). Adaptado de Gatiboni, 2003.

SOLUÇÕES:

H₂SO₄ 1:1: Adicionar, lentamente, 500 ml de H₂SO₄ concentrado em 500 ml de H₂O destilada e deionizada. Esperar esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume com H₂O destilada e deionizada.

Persulfato de amônio 7,5% (m/v): Dissolver 75 g de persulfato de amônia (Merck) em 800 ml de H₂O destilada e deionizada. Transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume com H₂O destilada e deionizada.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) Pipetar uma alíquota do extrato alcalino para solo em tubo de digestão;
- b) adicionar 10 ml de persulfato de amônio 7,5%;
- c) adicionar 1 ml de H₂SO₄ 1:1;
- d) cobrir o tubo com papel alumínio;
- e) colocar os tubos em recipiente maior e cobri-lo com papel alumínio;
- f) autoclavar à 121°C e 103 kPa por 3 horas;
- g) deixar esfriar e completar o volume à 20 ml.
- h) Determinar P conforme anexo C.

ANEXO F: DIGESTÃO DO RESÍDUO DO SOLO PARA ANÁLISE DO P TOTAL (Brookes & Powlson, 1982). Adaptado de Gatiboni, 2003.

SOLUÇÕES:

Solução $MgCl_2$ saturado: adicionar $MgCl_2$ em H_2O destilada e deionizada até a saturação da solução.

H_2SO_4 concentrado.

H_2O_2 concentrado.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) pesar 0,05 g de solo em tubo de digestão;
- b) adicionar 1 ml de $MgCl_2$ saturado;
- c) adicionar 2 ml de H_2SO_4 concentrado;
- d) colocar funil de refluxo no tubo de digestão;
- e) aquecer por 1 hora no bloco digestor à $200^\circ C$;
- f) deixar esfriar e adicionar 4 ml de H_2O_2 concentrado;
- g) aquecer por 1 hora no bloco digestor à $100^\circ C$;
- h) deixar esfriar e completar o volume à 50 ml.
- i) Determinar P conforme anexo C.

ANEXO G: P ORGÂNICO TOTAL (Olsen & Sommers, 1982). Adaptado de Gatiboni, 2003.

SOLUÇÕES:

Solução H_2SO_4 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$: Adicionar, lentamente, 27,75 ml de H_2SO_4 concentrado em um Becker de 1000 ml contendo 700 ml de água destilada e deionizada. Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) pesar 1 g de solo em duplicata: conjunto A para cadinho de porcelana e o conjunto B para snap-cap de 100 ml;
- b) levar o conjunto A para mufla e ignificar a 550°C por 2 horas (elevar a temperatura gradualmente);
- c) transferir o solo ignificado para snap-cap de 100 ml e adicionar 50 ml de H_2SO_4 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$;
- d) adicionar 50 ml de H_2SO_4 $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ ao conjunto B;
- e) agitar os conjuntos A e B por 2 horas em agitador horizontal;
- f) centrifugar o sobrenadante a 4000 rpm por 10 minutos;
- g) Determinar P conforme anexo C.

Obs: P orgânico total = P ignificado – P não ignificado

ANEXO H: ANÁLISE DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR DE P (^{31}P -RMN) (Cade-Menum, comunicação pessoal).

SOLUÇÕES:

NaOH 0,25 mol l⁻¹ + EDTA 0,05 mol l⁻¹: Pesar 18,61 g de Na-EDTA e 10,00 g de NaOH e diluir a 1000 ml em balão volumétrico.

Água deuterada (D₂O).

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) Pesar 9,0g de solo (peso seco) em snap cap 100 mL, com 3 repetições por amostra, (utilizado amostras com umidade de coleta, foi corrigido o peso em função com a determinação da umidade);
- b) Adicionar 90 mL de solução extratora de 0,25M NaOH + 0,05M Na₂EDTA;
- c) Agitar 16 horas em agitador com movimentos de agitação vertical 360° (33rpm);
- d) Retirar 5 mL do extrato sobrenadante em tubos falcon (15 mL), e realizado a determinação de P inorgânico conforme anexo D e P total conforme anexo E;
- e) Passar para os tubos falcon (50 mL) só para centrifugar;
- f) Centrifugar as amostras por 10 minutos a 1400g;
- g) Filtrar o extrato sobrenadante centrifugado para tubos falcon (50 mL) com filtro whatman 42;
- h) Retirar 5 mL do extrato sobrenadante em tubos falcon (15 mL), e realizado a determinação de P inorgânico conforme anexo D e P total conforme anexo E;
- i) Transferir o extrato sobrenadante filtrado para Becker (100 mL) e congelar a -80°C;

- j) Liofilizar o extrato sobrenadante congelado até completamente conseguir extrato seco (foi obtido aproximadamente 2 g de extrato liofilizado e a secagem levou 3 a 4 dias;
- k) 1 g extrato liofilizado é re-solubilizado em 3 mL NaOH 0,25 M + Na₂EDTA 0.05M + 0,3 mL D₂O, e transferir para tubo RMN;
- l) Agitar o material re-solubilizado em agitador vortex por 5 minutos;
- m) Centrifugar as amostras na velocidade tão alta quanto possível por 20 minutos. Dependendo da centrifuga disponível no laboratório. Anotar qual velocidade (g) utilizada;
- n) Filtrar em filtro de 0.2- µm, após a centrifugação;
- o) Levar a amostra re-solubilizada para análise de ³¹P-RMN;
- m) realizar a leitura no espectrômetro de RMN.