

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

FILIPPE ANTONIO WROBLESCKI

TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA PARA PROTEÇÃO DA SUPERFÍCIE DO SOLO EM
ENCOSTAS E CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA

LAGES

2022

FILIPPE ANTONIO WROBLESCKI

TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA PARA CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA E
PROTEÇÃO DA SUPERFÍCIE DO SOLO EM ENCOSTAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientadora: Prof. Dra. Letícia Sequinatto

Coorientador: Prof. Dr. Ildegardis Bertol

LAGES

2022

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Wroblescki, Filipe Antonio

Técnicas de bioengenharia para proteção da superfície do solo em encostas e controle da erosão hídrica / Filipe Antonio

Wroblescki. -- 2022.

111 p.

Orientadora: Letícia Sequinatto

Coorientador: Ildegardis Bertol

Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2022.

I. Biomanta. 2. Geomanta. 3. Porosidade do solo. 4. Ajuste de dados. I. Sequinatto, Letícia. II. Bertol, Ildegardis. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título.

FILIPPE ANTONIO WROBLESCKI

TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA PARA PROTEÇÃO DA SUPERFÍCIE DO SOLO EM
ENCOSTAS E CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientadora: Profa. Dra. Letícia Sequinatto

Co-orientador: Prof. Dr. Ildegardis Bertol

BANCA EXAMINADORA

Orientadora:

Profa. Dra. Letícia Sequinatto

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CAV

Membros internos:

Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CAV

Prof. Dr. Edgar Odebrecht

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CCT

Membros externos:

Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa

Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG

Dra. Andreia Patrícia Andrade

Lages, 06 de fevereiro de 2023.

À minha ex-esposa Josiane e minhas filhas Mariana e Iasmin, pelo seu carinho e paciência. Obrigado por ainda acreditarem na realização deste meu sonho.

AGRADECIMENTOS

É com muita gratidão que chego ao final do doutorado, e não posso deixar de agradecer às pessoas que foram indispensáveis para essa conquista.

Agradeço primeiramente à minha família pela compreensão de minha escolha e das minhas muitas ausências em momentos de união. Aos meus pais Rui Wroblescki (*in memoriam*) e Vilda Terezinha dos Santos Wroblescki, pelo incentivo que sempre tive para estudar, pela sua compreensão, pelo seu carinho, pela sua paciência e pelo seu amor. Às minhas filhas Mariana Lima Wroblescki e Iasmin da Silva Wroblescki pela sua paciência e por estarem em minha vida. Em especial agradeço à minha ex-esposa Josiane Bento da Silva, por aceitar minha decisão, dando-me o carinho que eu tanto necessitei.

À Kathleen Stramosk, minha ex-veterana na graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária e atualmente mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, por ter elaborado os mapas deste trabalho.

Ao Professor Ildegardis Bertol, por ter me orientado, de direito e de fato desde o início do Doutorado, entre 18 de julho de 2018 e a data de 30 de agosto de 2022 quando iniciou o seu período de licença-prêmio pré-aposentadoria. Sua orientação, contudo, continuou sendo de fato desde esta data até a defesa da tese. O Professor Ildegardis Bertol desde o início concordou com a ideia geral do trabalho, detalhou as ideias específicas e aceitou me orientar sem dispensar esforços, de maneira permanente e segura.

À Professora Letícia Sequinatto por ter assumido minha orientação, entre 31 de agosto de 2022 e a defesa da tese, pela sua gentileza, dedicação, paciência e disponibilidade em resolver os mais diversos percalços que ocorreram até a defesa da tese.

À Secretária Administrativa Melissa Pierdoná, pelo seu empenho, atenção e esclarecimentos prestados, muitas vezes fora do seu horário de expediente.

Aos meus colegas do Laboratório de Uso e Conservação do Solo que me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho na sua fase de campo, em especial a Agna Letícia Botelho Figueiredo, Arthur Kauling, Ben-Hur Natal Dal Piva, Eunice Wachholz, Marco Fruhauf de Oliveira, Marco Segalla Prazeres e Tércio Vaisnava Fehlauer.

À Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), especialmente ao Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), pela oportunidade de formação científica. Aos professores do PPGCS pelos ensinamentos transmitidos e aos funcionários do CAV que durante algum período ajudaram na minha formação.

Ao CNPq pela Bolsa PQ do professor orientador e por parte dos recursos financeiros para o trabalho, e à FAPESC por parte dos recursos financeiros para o trabalho.

À empresa Maccaferri pelo incentivo a pesquisa e doação dos materiais geossintéticos.

À Prefeitura de Lages por ter permitido que eu me ausentasse do trabalho para o curso.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram para a elaboração deste trabalho.

“É pela fé que entendemos que o Universo foi criado pela palavra de Deus e que aquilo que pode ser visto foi feito daquilo que não se vê.”
Bíblia (Heb 11:3).

RESUMO

A necessidade de evitar a degradação do solo tem estimulado o desenvolvimento de técnicas de bioengenharia para melhorar as condições de sustentação e equilíbrio na sua superfície. Com esta pesquisa objetivou-se avaliar os atributos físicos do solo e a erosão hídrica, após o emprego de técnicas de bioengenharia. A pesquisa foi conduzida em Lages/SC entre 2018 e 2022, em nível de campo na condição de chuva simulada, em um solo Cambissolo Húmico Alumínico léptico. Estudaram-se os tratamentos que seguem. BSC: manta biodegradável (biomanta) sem cobertura vegetal. BCC: manta biodegradável (biomanta) com cobertura vegetal. GSC: manta não biodegradável (geomanta) sem cobertura vegetal. GCC: manta não biodegradável (geomanta) com cobertura vegetal. SCC: solo com cobertura vegetal e sem manta. SSC: solo sem cobertura e sem manta, ou testemunha. A cobertura vegetal era de aveia preta cultivada (*Avena strigosa* Schreb). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com duas repetições por tratamento, em parcelas com dimensões de 3,5 x 11 m e declividade de 12,5% na média das parcelas. A chuva foi planejada para duração de 60 minutos e intensidade constante de 100 mm h⁻¹. Foram realizadas quatro chuvas sobre cada um dos tratamentos. Os testes de chuva ocorreram em 2020, nos dias 29 de agosto, 26 de setembro, 24 de outubro e 14 de novembro. Um simulador de chuva de braços rotativos do tipo “Empuxo” foi utilizado para realizar as chuvas. Perdas de solo e água foram determinadas. No início (solo sem preparo e em pousio) e no final da pesquisa (após a aplicação das chuvas simuladas), a densidade, porosidade e estabilidade de agregados em água foi determinada. Antes de cada chuva simulada foi determinada a umidade do solo em base gravimétrica. Durante a chuva, a velocidade da enxurrada, a taxa instantânea de descarga e o D₅₀ dos sedimentos nela presentes foi quantificada. Os valores de perda de solo obtidos na declividade de 12,5% foram ajustados para declividade de 30%. Os materiais geossintéticos não alteraram as propriedades físicas do solo, não influenciaram na umidade gravimétrica, aumentaram o tempo de início da enxurrada e reduziram a velocidade da enxurrada e perdas de água e solo. A cobertura vegetal diminuiu a umidade gravimétrica no solo, tempo de início da enxurrada e perdas de água e solo. A associação dos materiais geossintéticos com a cobertura vegetal aumentou o tempo de início da enxurrada e diminuiu a perda de água. A perda de solo ajustada foi de 2 a 5,8 vezes maiores do que a perda de solo observada. A biomanta foi mais eficaz do que a geomanta na redução da perda de solo.

Palavras-chave: Biomanta. Geomanta. Porosidade do solo. Ajuste de dados.

ABSTRACT

The need to avoid soil degradation has stimulated the development of bioengineering techniques to improve the conditions of support and balance on its surface. This research aimed to evaluate the physical attributes of the soil and water erosion, after the use of bioengineering techniques. The research was conducted in Lages/SC between 2018 and 2022, at field level in simulated rainfall condition, in a Cambisol Humic Aluminium leptic soil. The following treatments were studied. BCS: biodegradable blanket (natural fiber mat) without vegetation cover. BCC: biodegradable blanket (natural fiber mat) with plant cover. GSC: non-biodegradable blanket (geosynthetic mat) without vegetation cover. GCC: non-biodegradable blanket (geosynthetic mat) with vegetation cover. SCC: soil with vegetation cover and no blanket. SSC: soil without cover and without blanket, or control. The vegetation cover was cultivated black oat (*Avena strigosa Schreb*). The experimental design was completely randomized, with two replications per treatment, in plots with dimensions of 3.5 x 11 m and slope of 12.5% in the average of the plots. The rain was planned for a duration of 60 minutes and a constant intensity of 100 mm h⁻¹. Four rains were performed on each of the treatments. The rain tests took place in 2020, on the 29th of August, 26th of September, 24th of October and 14th of November. A “Thrust” type rotating arms rain simulator was used to perform the rains. At the beginning (untilled and fallow soil) and at the end of the survey (after the application of simulated rainfall), the density, porosity and stability of aggregates in water were determined. Before each simulated rainfall, soil moisture was determined on a gravimetric basis. During the rain, the runoff velocity, the instantaneous discharge rate and the D₅₀ of the sediments present in it were quantified. The soil loss values obtained at a slope of 12.5% were adjusted for a slope of 30%. The geosynthetic materials did not change the physical properties of the soil, did not influence the gravimetric moisture, increased the runoff time and provided lower runoff velocity and water and soil losses. Vegetation cover caused lower soil gravimetric moisture, runoff start time and water and soil losses. The association of geosynthetic materials with the vegetation cover caused an increase in runoff time and a decrease in water loss. The adjusted soil loss was 2 to 5.8 times greater than the observed soil loss. The natural fiber mat was more effective than the geosynthetic mat in reducing soil loss.

Keywords: Natural fiber mat. Geosynthetic mat. Soil porosity. Data adjustment.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Vista aérea e localização da área experimental onde a pesquisa foi realizada, no Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC 35
- Figura 2 - Mapa com vista aérea e com as curvas de nível, em altimetria, da área experimental onde a pesquisa foi realizada, no Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC 36
- Figura 3 - Distribuição mensal da chuva e temperatura no município de Lages para o ano de 2020 (Epagri, 2021) 37
- Figura 4 - Vista de uma unidade experimental (parcela) com o solo em pousio na área experimental do Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC38
- Figura 5 - Vista aérea de disposição espacial das parcelas e tratamentos na área experimental do Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC39
- Figura 6 - Detalhes de uma unidade experimental, ou parcela, utilizada na pesquisa localizada na área experimental do Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC40
- Figura 7 - Geomanta utilizada na pesquisa desenvolvida do Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC41
- Figura 8 - Biomanta utilizada na pesquisa desenvolvida do Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC41
- Figura 9 - Parcela com biomanta colocada na superfície do solo com uma sobreposição mínima de 30 cm sobre panos na área experimental do Setor de Conservação do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC44

Figura 10 - Semeadura de braquiária a lanço em parcela da área experimental do Setor de Conservação do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC	44
Figura 11 - Parcela com biomanta recebendo uma camada de solo de 2 a 3 cm na área experimental do Setor de Conservação do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC	45
Figura 12 - Simulador de chuva com braços rotativos tipo empuxo realizando teste de chuva em duas parcelas simultaneamente em um Cambissolo Húmico em Lages SC	46
Figura 13 - Densidade determinada no solo em estado de pousio, antes de instalar os tratamentos (DS-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	68
Figura 14 - Porosidade total determinada no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (PT-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	69
Figura 15 - Macroporosidade determinada no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (MA-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	70
Figura 16 - Bioporosidade determinada no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (BP-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	71
Figura 17 - Microporosidade determinada no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (MI-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	72
Figura 18 - Diâmetro médio ponderado dos agregados determinado no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (DMP-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	72
Figura 19 - Densidade determinada no solo após as chuvas simuladas (DS-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	73
Figura 20 - Porosidade total determinada no solo após as chuvas simuladas (PT-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	74
Figura 21 - Macroporosidade determinada após no solo as chuvas simuladas (MA-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	75

Figura 22 - Bioporosidade determinada no solo após as chuvas simuladas (BI-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	76
Figura 23 - Microporosidade determinada no solo após as chuvas simuladas (MI-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	77
Figura 24 - Diâmetro médio ponderado dos agregados determinado no solo após as chuvas simuladas (DMP-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	78
Figura 25 - Variação da densidade entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (DS-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	79
Figura 26 - Variação da porosidade total entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (PT-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	79
Figura 27 - Variação da macroporosidade entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (MAP-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	81
Figura 28 - Variação da bioporosidade entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (BP-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	81
Figura 29 - Variação da microporosidade entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (MIP-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das camadas)	82
Figura 30 - Variação do diâmetro médio ponderado entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (DMP-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas)	83
Figura 31 - Umidade gravimétrica (UG) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições)	86
Figura 32 - Tempo de início da enxurrada (IE) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições)	86

Figura 33 - Velocidade da enxurrada (VE) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC	87
Figura 34 - Perdas de água (PA) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC	88
Figura 35 - Perda de solo observada (PSO) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC	89
Figura 36 - Perdas de solo ajustada (PSA) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC	90
Figura 37 - Curva granulométrica dos sedimentos transportados no teste 1 de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC	93
Figura 38 - Curva granulométrica dos sedimentos transportados no teste 2 de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC	93
Figura 39 - Curva granulométrica dos sedimentos transportados no teste 3 de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC	94
Figura 40 - Curva granulométrica dos sedimentos transportados no teste 4 de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físicas e mecânicas da geomanta usada na pesquisa	42
Tabela 2 - Propriedades físicas e mecânicas da biomanta usada na pesquisa.	42
Tabela 3 - Valores de densidade (DS-AN), porosidade total (PT-AN), bioporos (BP-AN), macroporos (MA-AN), microporos (MI-AN) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP-AN), determinados no solo em estado de pousio imediatamente antes de instalar os tratamentos, em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições)	51
Tabela 4 - Valores de densidade (DS-AP), porosidade total (PT-AP), bioporos (BP-AP), macroporos (MA-AP), microporos (MI-AP) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP-AP), determinados imediatamente após aplicar as chuvas simuladas, em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições)	55
Tabela 5 - Variação entre os resultados obtidos depois da instalação dos tratamentos após aplicação de quatro chuvas simuladas em comparação ao estado anterior de pousio para densidade (DS-V), porosidade distribuída em poros totais (PT-V), bioporos (BP-V), macroporos (MAP-V), e microporos (MIP-V), e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP-V) em cada camada de solo, para um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições)	59
Tabela 6 - Resultados da declividade real (D), umidade gravimétrica (UG), intensidade de chuva aplicada (I), início da enxurrada (IE), velocidade da enxurrada (VE), perda de água (PA), perda de solo observado (PSO), perda de solo ajustado para declividade de 30% e intensidade de chuva de 100 mm h ⁻¹ (PSA) e D50 por chuva aplicada para um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições)	65
Tabela 7 - Resultados do diâmetro dos sedimentos transportados (DST) por chuva aplicada para um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições)	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
A	Área
A	Perda média anual de solo estimada pela equação USLE/RUSLE
ASTM	American Society for Testing and Materials
BCC	Manta biodegradável (biomanta) com cobertura vegetal
BP-AN	Volume de bioporos antes de instalar os tratamentos
BP-AP	Volume de bioporos após aplicar chuvas simuladas
BP-V	Variação do volume de bioporos
BSC	Manta biodegradável (biomanta) sem cobertura vegetal
C	Fator cobertura e manejo do solo da equação USLE/RUSLE
CA-50	Aço para concreto armado com resistência de 500 MPA
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
Cfb	Clima oceânico temperado
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CV	Coefficiente de variação
D	Declividade real
D ₅₀	Índice que representa o diâmetro médio de sedimentos
DIN	Deutsches Institut für Norming
DMG	Diâmetro médio geométrico de sedimentos
DMP	Diâmetro médio ponderado de sedimentos
DMP-AN	Diâmetro médio ponderado de sedimentos antes de instalar os tratamentos
DMP-AP	Diâmetro médio ponderado de sedimentos após aplicar chuvas simuladas
DMP-V	Variação do diâmetro médio ponderado de sedimentos
DS-AN	Densidade do solo antes de instalar os tratamentos
DS-AP	Densidade do solo após aplicar chuvas simuladas
DST	Diâmetro de sedimentos transportados pela enxurrada
DS-V	Variação da densidade do solo
EI ₃₀	Índice que representa o fator de erosividade da chuva natural na equação USLE/RUSLE
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Epagri	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FPS	Fração de perda de solo
g	Gramas
GCC	Manta não biodegradável (geomanta) com cobertura vegetal
GSC	Manta não biodegradável (geomanta) sem cobertura vegetal
H	Altura
h	Hora
ha	Hectare
I	Número da ordem de segmento de um declive
I	Intensidade de chuva aplicada
IE	Início de enxurrada

K	Fator que representa a erodibilidade do solo na equação USLE/RUSLE
kg	Quilograma
kgf	Quilograma força
kN	Quilonewton
L	Fator comprimento do declive na equação USLE/RUSLE
m	Metro
MA-AN	Volume de macroporos antes de instalar os tratamentos
MA-AP	Volume de macroporos após aplicar chuvas simuladas
MA-V	Variação do volume de macroporos
MI-AN	Volume de microporos antes de instalar os tratamentos
MI-AP	Volume de microporos após aplicar chuvas simuladas
MI-V	Variação do volume de microporos
MJ	Megajoule
ml	Mililitro
mm	Milímetro
N	Norte
N	Número total de segmentos de igual comprimento em que o declive foi dividido
Ø	Diâmetro da tubulação de PVC
P	Fator práticas conservacionistas na equação USLE/RUSLE
PA	Perda de água
PSA	Perda de solo ajustada
PSO	Perda de solo observada
PT-AN	Volume de poros totais antes de instalar os tratamentos
PT-AP	Volume de poros totais após aplicar chuvas simuladas
PT-V	Variação do volume de poros totais
R	Fator que representa a erosividade da chuva na equação USLE/RUSLE
RTK	Real time kinematic
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
S	Fator inclinação do declive na equação USLE/RUSLE
SC	Estado de Santa Catarina
SCC	Solo com cobertura vegetal e sem manta
SIRGAS2000	Sistema de referência geocêntrico para as Américas
SSC	Solo sem cobertura vegetal e sem manta
T	Tratamento
t	Tonelada
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UG	Umidade gravimétrica
USLE	Universal Soil Loss Equation
UTM	Universal Transversal de Mercator
VE	Velocidade de enxurrada
Θ	Ângulo do declive
Λ	Comprimento do declive

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1	EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL E FATORES CONDICIONANTES.....	21
2.2	PROTEÇÃO DA SUPERFÍCIE DO SOLO EM ENCOSTAS	22
2.3	CARACTERÍSTICAS DO SOLO QUE AFETAM A ERODIBILIDADE.....	23
2.4	EFEITO DE PLANTAS E GEOSINTÉTICOS NO CONTROLE DA EROSIÃO HÍDRICA PLUVIAL DO SOLO	24
2.5	O MODELO USLE/RUSLE NA PREDIÇÃO DE PERDA DE SOLO.....	26
2.6	INFLUÊNCIA DA DECLIVIDADE DO TERRENO NAS PERDAS DE SOLO.....	28
2.7	INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DE DECLIVE NAS PERDAS DE SOLO....	29
3	HIPÓTESES.....	32
4	OBJETIVOS.....	33
4.1	GERAL.....	33
4.2	ESPECÍFICOS.....	33
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
5.1	ÁREA DE ESTUDO.....	34
5.2	CONSTITUIÇÃO DO EXPERIMENTO E PROCEDIMENTOS DE INSTALAÇÃO DA PESQUISA.....	38
5.2.1	Tratamentos.....	38
5.2.2	Unidade experimental, ou parcela.....	39
5.2.3	Características da geomanta e biomanta.....	40
5.2.4	Implantação da pesquisa.....	42
5.3	SIMULADOR DE CHUVA E CHUVA SIMULADA.....	45
5.4	PROCEDIMENTOS DE CAMPO E LABORATÓRIO PARA COLETA E PROCESSAMENTO DE AMOSTRAS.....	46
5.4.1	Antes e depois da aplicação das chuvas simuladas.....	46
5.4.2	No dia de aplicação da chuva simulada.....	47
5.5	ORGANIZAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS.....	48
5.5.1	Ajuste de dados.....	48
5.5.2	Análise estatística.....	48
6	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	49
6.1	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO DETERMINADAS IMEDIATAMENTE ANTES DE INSTALAR OS TRATAMENTOS.....	49
6.2	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO DETERMINADAS IMEDIATAMENTE APÓS APLICAR AS CHUVAS SIMULADAS.....	52
6.3	VARIAÇÃO TEMPORAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	56
6.4	DADOS OBTIDOS NO DIA DA CHUVA SIMULADA.....	60
6.4.1	Umidade gravimétrica do solo.....	60
6.4.2	Tempo necessário para início da enxurrada.....	60
6.4.3	Velocidade da enxurrada.....	61
6.4.4	Perda de água por escoamento superficial.....	61
6.4.5	Perda de solo observada.....	62
6.4.6	Perda de solo ajustada.....	62
6.4.7	Índice D₅₀ dos sedimentos.....	63
6.4.8	Diâmetro dos sedimentos transportados.....	63
7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	68

7.1	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO DETERMINADAS IMEDIATAMENTE ANTES DE INSTALAR OS TRATAMENTOS.....	68
7.2	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO DETERMINADAS IMEDIATAMENTE APÓS APLICAR AS CHUVAS SIMULADAS.....	73
7.3	VARIAÇÃO TEMPORAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	78
7.4	SUMÁRIO INTERPRETATIVO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	83
7.5	DADOS DE EROÇÃO HÍDRICA OBTIDOS NO DIA DA CHUVA SIMULADA	85
7.5.1	Umidade gravimétrica do solo.....	85
7.5.2	Tempo necessário para início da enxurrada.....	85
7.5.3	Velocidade da enxurrada.....	87
7.5.4	Perda de água por escoamento superficial.....	87
7.5.5	Perda de solo observada.....	88
7.5.6	Perda de solo ajustada.....	89
7.5.7	Distribuição de diâmetro dos sedimentos transportados pela enxurrada e índice D₅₀.....	91
7.6	SUMÁRIO INTERPRETATIVO DOS DADOS OBTIDOS NO DIA DA CHUVA SIMULADA.....	96
8	CONCLUSÕES.....	98
	REFERÊNCIAS.....	100
	APÊNDICE A – VITA.....	111

1 INTRODUÇÃO

As encostas estão constantemente sujeitas à energia de agentes erosivos provenientes de intempéries. No caso do talude ter sido estabelecido há pouco tempo, por trabalho antrópico em obra recente, é indispensável estabilizar e proteger superficialmente o terreno contra erosão. Isso é mais necessário e urgente se a conformação geométrica, artificial ou natural, tenha características para potencializar a energia dos agentes erosivos.

Atualmente o mercado disponibiliza uma variedade de soluções que se adaptam à encosta e à severidade dos agentes erosivos, cujos resultados são respaldados pelos clientes que enfrentam esses problemas. Por se tratar de solução onerosa, é necessário conhecer a eficiência desses materiais usados no controle da erosão. Assim, é necessário conhecimento para escolha da melhor solução para atender as metas técnico-funcional. Normalmente os fabricantes fornecem dados das propriedades físicas e mecânicas desses materiais, cujas informações fracamente se relacionam com a real capacidade de proteção superficial do solo.

Na atualidade, existe uma ampla diversidade de técnicas desenvolvidas para controle da erosão hídrica e proteção da superfície em encostas. O conhecimento de bioengenharia é aplicado no planejamento de obras, encurtando a distância entre a ciência biológica e a engenharia clássica. Isso permite que os profissionais de meio ambiente interliguem essas áreas. Como resultado, torna-se possível, pelo menos em parte, diminuir as dificuldades existentes em cada uma dessas três áreas, quando consideradas em separado.

A bioengenharia é uma das áreas da ciência que objetiva controlar voçorocas e outros modelos de degradação do solo desencadeados pelo escoamento superficial da água concentrada, e com isso proteger encostas. Isso é realizado por meio de estruturas inertes como madeira, concreto, pedra e metal, associadas à cobertura do solo por vegetais e/ou geossintéticos.

Com relação à cobertura vegetal, existe uma grande quantidade de dados de pesquisa que comprovam sua eficácia no controle de energia erosiva da água da chuva, comparada a outros tipos de materiais conservacionistas de solo em condição de cultivo agrícola. A cobertura vegetal não pode ser considerada alternativa para resolver todos os problemas de desestabilização de encostas. O emprego inapropriado dessa técnica, como a escolha de plantas inadequadas, por exemplo, pode produzir resultados negativos ou até acelerar o processo erosivo.

Os materiais geossintéticos constituem-se de uma manta colocada sobre o solo e confeccionada a partir de diversos materiais para proteção contra erosão. Os principais são

produtos sintéticos não degradáveis, podendo ser produzidos também com fibra de coco que é biodegradável. A principal função deste material é oferecer uma proteção imediata à superfície do terreno, até que uma cobertura vegetal se estabeleça. Apesar do reconhecimento da capacidade de proteção ambiental, e largamente usada em obras de engenharia, existem poucos estudos científicos que efetivamente demonstrem sua eficácia no controle das perdas de solo por erosão hídrica.

Os estudos de campo, em nível acadêmico, que avaliaram a eficácia das diferentes alternativas do mercado para mitigação dos impactos ambientais de encostas expostas a fenômenos erosivos, são poucos. Por isso, com esta pesquisa propôs-se comparar o efeito de diferentes técnicas de bioengenharia em condição de chuva simulada, na escala de parcela, visando melhor compreender a ação desses métodos perante as perdas de solo e água por erosão hídrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EROÇÃO HÍDRICA PLUVIAL E FATORES CONDICIONANTES

A erosão hídrica pluvial do solo é influenciada pela água da chuva, solo, relevo, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas de suporte (WISCHMEIER e SMITH, 1978). A erosão ocorre em três fases distintas, a desagregação, o transporte e a deposição de solo, as quais muitas vezes não são percebidas individualmente, porque podem acontecer concomitantemente (ELLISON, 1947).

A desagregação compreende a separação, ou destacamento, de partículas (individualizadas ou na forma de agregados estruturais) da massa de solo. Ocorre principalmente pelo impacto das gotas de chuva em solo descoberto, e pelo cisalhamento ocasionado pela água e sedimentos em transporte na enxurrada. O transporte é a remoção dos sedimentos desagregados do seu local de origem. Dá-se devido ao salpico causado pelo impacto das gotas da chuva em solo descoberto, mas principalmente pelo escoamento superficial. A deposição ou sedimentação do material que foi desagregado e transportado, acontece quando a carga de sedimentos em transporte torna-se maior do que a capacidade de transporte da enxurrada (ELLISON, 1947; FOSTER; MEYER, 1975; MEYER; FOSTER; NIKOLOV, 1975). A grandeza da erosão hídrica pluvial do solo depende, essencialmente, do resultado de duas forças antagônicas. Uma das forças é de ataque (energética) e a outra tem caráter dissipativo (resistivo) (HUDSON, 1995).

A força de ataque decorre da capacidade energética da chuva e enxurrada a ela associada, a qual promove desagregação do solo e transporte dos sedimentos. A vocação da chuva de acarretar erosão no solo é representada pela erosividade, influenciada por suas características, mas, especialmente a duração, volume, intensidade, tempo de retorno e frequência. Em tese, quanto maior é a duração da chuva, maior é a sua quantidade total e menor a sua intensidade média. A intensidade é fruto da relação entre quantidade e duração da chuva, enquanto esta última é a que irá definir a quantidade total de chuva. Uma chuva de alta intensidade contém predominância de gotas de maior diâmetro do que uma chuva de baixa intensidade, portanto, maior é a sua velocidade terminal de queda. Em contrapartida, quanto maior é a duração da chuva, mesmo que seja de menor intensidade média, maior será a massa ou quantidade total de água que precipita. A energia cinética da chuva decore de sua quantidade (massa da chuva) e intensidade (velocidade de queda das gotas da chuva). Assim, grandes quantidades e/ou intensidades de chuva terão maior energia cinética (WISCHMEIER, 1962;

FOSTER; MEYER, 1977; HUDSON, 1995). Ao comparar dois locais com a mesma quantidade anual de chuva, uma região com um conjunto de chuvas de baixa intensidade e outra com duas ou três chuvas de alta intensidade que podem representar até 80% da chuva, Wischmeier (1962) verificou que no segundo caso a erosão foi maior. Para um longo período de coleta de dados, apenas poucas chuvas são responsáveis pela maior parte das perdas de solo ocorridas, quando o período de retorno dessas chuvas é superior a 100 anos (EDWARDS; OWENS, 1991).

A força dissipativa do solo decorre de sua aptidão para resistir (dissipar) à erosividade da chuva e enxurrada, por sua vez, também depende de condições, especialmente das características do solo. Essas características determinam a erodibilidade, ou seja, influenciam a desagregação do solo e transporte dos sedimentos e a infiltração de água no solo. Assim, a erodibilidade do solo relaciona-se às suas características químicas, físicas, mineralógicas e biológicas (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A topografia do terreno é composta pelos elementos declividade, comprimento e formato da curvatura do declive. Esses elementos da topografia respondem de modo distinto quanto à velocidade e volume do escoamento superficial. Estas duas variáveis hidráulicas, por sua vez, irão compor o fator energético da topografia e sua influência na erosão hídrica pluvial (WISCHMEIER e SMITH, 1978; HUDSON, 1995).

A cobertura e manejo do solo é o fator fundamental que se tem disponível para aumentar o poder dissipativo do solo frente à ação dos fatores energéticos causadores de erosão (WISCHMEIER e SMITH, 1978). A proteção da superfície do solo em oposição ao efeito erosivo, particularmente origina-se da cobertura vegetal promovidas pelas plantas e seus resíduos vegetais remanescentes, bem como de outros materiais como restos de madeira e fragmentos de rocha. Ainda, o manejo do solo, em especial o preparo mecânico, tem grande influência nesse fator. Assim, o fator cobertura e manejo do solo atua em oposição à energia das gotas de chuva e da enxurrada associada.

2.2 PROTEÇÃO DA SUPERFÍCIE DO SOLO EM ENCOSTAS

A dificuldade da consolidação da cobertura vegetal em taludes proporciona aumento de custos de manutenção. Normalmente a proteção da superfície do solo em encostas é feita com plantas cuja seleção e quantidade de sementes são feitas empiricamente, sem o emprego das circunstâncias essenciais, bem como técnicas conhecidas. A vegetação em encostas deve ser escolhida de forma que permita maior infiltração de água no solo, menor escoamento superficial, proteção contra erosão e que tenha aspectos para melhorar a estabilidade. A

determinação apropriada da vegetação e respectiva quantidade de sementes é condição crucial no estabelecimento da vegetação e proteção contra processos erosivos, desta forma, essencial conhecimento técnicos que contenham aspectos climáticos, edáficos, fisiológicos e ambientais (PEREIRA, 2006).

A quantidade de sementes deve levar em consideração a inclinação da área, tipo de solo, a técnica de preparo, altura do talude, drenagem e a época do plantio. A utilização de produtos geossintéticos para o controle da erosão em encostas favorece a retenção de sementes, conserva a umidade, evita a erosão e facilita o estabelecimento de vegetação. Em certas condições a biomanta é um geossintético mais vantajoso do que a geomanta devido a introdução da matéria orgânica no talude (PEREIRA, 2006).

2.3 CARACTERÍSTICAS DO SOLO QUE AFETAM A ERODIBILIDADE

O poder de agregação do solo é possível ser determinada pelo diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), de modo que, agregados com baixa estabilidade são aqueles que fragmentam com facilidade em água. A matéria orgânica desempenha enorme ação no processo de formação e estabilização dos agregados. Além disso, textura do solo influencia a estabilidade e a própria formação de agregados, e solos com grande quantidade de argila contribuem para agregação por causa do seu auxílio para ampliar a aproximação das partículas do solo. A associação de argila e matéria orgânica torna-se maior a estabilidade dos agregados, permitindo-os resistentes à desagregação. Ainda, em solos caulíníticos a elevada resistência a desagregação é proporcionada pela presença de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, cuja ação da agregação está ligada com a diversidade de cátion predominante. A consistência do solo é influenciada pela quantidade de umidade nele presente e afeta a estabilidade do solo. Desta forma, solo com teor de água mediana apresenta baixa desagregação do que aquele na condição seca ou molhada (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

As partículas de solo são mais densas que água, desta forma, elas sedimentam em velocidades proporcionais ao seu tamanho. Desta forma, o diâmetro da partícula de solo é relevante na caracterização da transportabilidade do solo. Enxurradas com baixa velocidade de sedimentação possuem mais capacidade de transporte de partículas de solo devidos essas permanecerem mais tempo em suspensão. Portanto, argila fica dispersa quase que constantemente, enquanto o transporte de areia ou agregados de solo de diâmetro da areia ou maior acontece apenas por enxurradas veloz e espessas ou pela água turbulenta devido ao salpico da chuva. Além disso, a matéria orgânica por ser menos densa que os sedimentos

minerais do solo, também influencia o transporte de sedimentos. Um grânulo de areia é menos prontamente transportado devido sua maior densidade quando comparado com um agregado de solo de mesmo tamanho que é constituído de uma mistura de material orgânico e mineral (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2019).

A infiltração de água no solo é um processo hidrológico essencial para o controle da enxurrada e por isso afeta a erosão hídrica pluvial. A quantidade de água da chuva que infiltra no solo é afetada pelo teor de água no solo e estrutura (arranjo, diâmetro e continuidade de poros maiores). Solos com predomínio de macroporos (maior que 60 μm de diâmetro) permite a rápida drenagem por gravidade. Os macroporos podem ocorrer como espaços entre partículas de areia em solos de textura grosseira. A sustentação de uma alta taxa de infiltração ocorrem quando porosidade inicial do solo continua relativamente a mesma no decorrer de todo período de chuva. As partículas de solo quando desagregadas obstruem os poros acarretando a diminuição da infiltração de água. Infiltração mais alta ocorre em solo com pequena quantidade de água e solo com agregados estáveis que mantem poros grandes desobstruídos por mais tempo. Infiltração baixa ocorre em solos com poros cheios de água ou muito seco, mas sem fissuras (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2019).

Para a erosão hídrica pluvial, o solo que é um agente passivo no processo erosivo sofre ação do agente ativo, a chuva. Cada tipo de solo mostra uma aptidão diferente de suportar a erosão. O fator de erodibilidade (fator K) é um valor que representa aptidão de um solo para suportar a erosão, dessa forma, valores maiores indicam solos mais propensos para sofrerem erosão hídrica pluvial (BERTOL; CASSOL; DE MARIA, 2019).

Na sequência seguem alguns valores de fator K, em $\text{t h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$, obtido em alguns trabalhos no Brasil. Para um Latossolo Vermelho, RS - 0,021 (DENARDIN; WUNSCH, 1980); para um Latossolo Vermelho, DF - 0,013 (DEDECEK; RESCK; FREITAS JÚNIOR, 1986); para Mococa, SP - 0,0232 (CARVALHO et al., 1989); para um Latossolo Vermelho, SP - 0,009 (MARTINS FILHO; PEREIRA, 1993); para um Cambissolo Húmico em Lages, SC - 0,0175 (SCHICK et al., 2014b); para um Latossolo Vermelho, PR - 0,0084 (JACOB et al., 1994); e para um Latossolo Vermelho, MG - 0,002 (MARQUES et al., 1997).

2.4 EFEITO DE PLANTAS E GEOSSINTÉTICOS NO CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL DO SOLO

A bioengenharia envolve a utilização de plantas e geossintéticos, dentre outros materiais, para promover a proteção da superfície do solo. Com as plantas é possível promover

ações positivas e negativas nas encostas, dependendo da espécie e do manejo de planta utilizada nas áreas a serem estabilizadas (PEREIRA, 2006).

Existem cinco modos pelos quais as plantas podem auxiliar no reforço no solo, segundo Gray e Leiser (1982). Estruturando o solo por meio das raízes, impedindo o vento ou dissipando a sua energia, interceptando a água do escoamento superficial, aumentando a infiltração de água no solo e diminuindo a umidade do solo pela evaporação e transpiração. Quatro ações são possíveis para as plantas atuarem auxiliando na proteção de encostas (KLINGMAN; BRADLEY, 1976). Primeiramente, por meio das raízes que auxiliam na coesão das partículas de solo e ampliam a estabilidade de toda a encosta; isso gera estrutura de ligação em rede. Secundariamente a parte aérea das plantas acima do solo é capaz de ampliar a resistência ao movimento da água; como resultado, diminui a velocidade da água no escoamento superficial, possibilitando a dissipação de energia no atrito com as plantas ao invés do solo, diminuindo a erosão. Terceiro, as plantas funcionam como uma proteção desfavorável à ação abrasiva do material carregado pela água. Quarto, as plantas, pela diminuição da velocidade do escoamento, auxiliam a sedimentação do material transportado pela água, diminuindo assim o transporte desse material para o curso de água. Além do mais, o custo das plantas é menor do que o de outros métodos estruturais, além de assegurar recursos para a prosperidade da fauna local.

A probabilidade de avaria na estrutura cimentada pelas raízes, o acúmulo de água nos espaços deixados pelo apodrecimento de raízes, o peso de árvores plantadas em encostas que pode causar escorregamento, o emprego de vegetação alta e com folhas largas que pode provocar erosão por “splash” e o vento batendo nas árvores que aumenta o esforço sobre a massa de solo e intensifica o escorregamento, são consequências negativas prováveis do emprego de vegetação (PEREIRA; COELHO, 2006).

A utilização de espécies vegetais consiste num método simples para gerar proteção superficial contra erosão. No entanto, em algumas situações é indispensável a utilização de métodos mais complexos como o emprego de geossintéticos. Os sistemas de proteção superficial flexíveis podem ser utilizados em locais sujeitos à ocorrência de erosão superficial como encostas e margens de cursos hídricos com baixa velocidade de escoamento. Os geossintéticos utilizados para esses fins agem como uma camada de proteção do solo contra a ação erosiva ocasionada pela água ou pelo vento. Na maior parte das vezes o uso desse material está relacionado ao reestabelecimento da vegetação superficial do terreno, podendo ser utilizados produtos temporários ou permanentes para esse fim (VERTEMATTI, 2015).

Os materiais de duração temporária são totalmente ou parcialmente degradáveis. Esses materiais são empregados em lugares onde a vegetação será capaz de exercer, por si só,

considerável proteção contra a erosão, mesmo após a degradação do produto. Sua principal finalidade é reter a umidade do solo, atuando como fonte de matéria orgânica e de nutrientes às espécies vegetais, além de atuar como uma camada de proteção à superfície do terreno em que se deseja estabelecer a vegetação, protegendo o solo do impacto das chuvas e do escoamento superficial das águas. Os geossintéticos desse grupo são materiais leves e com baixa resistência mecânica. Dessa maneira, não apresentam capacidade de suportar esse tipo de esforço e muito menos serem utilizados como elementos de reforço em terrenos. Existe uma variedade de produtos em diversos tipos de composição. A seleção do tipo de material deve levar em consideração diversos aspectos, como características do terreno, clima, tempo de degradação do material e tipo de cobertura vegetal que se pretende restabelecer. As biomantas são materiais temporários, fabricadas a partir de juta, sisal e coco (VERTEMATTI, 2015).

Os materiais permanentes são feitos basicamente por polímeros sintéticos oriundos do petróleo com alta porosidade. Uma vez estabelecido o sistema, esses materiais mostram melhor fixação na superfície e maior potencial de retenção do solo superficial. Isso ocorre mesmo em situação de escoamento de água sobre a superfície. Também, apresentam maior associação com o sistema radicular da planta à medida que o desenvolvimento desta acontece. As geomantas, geotêxteis e geogrelhas são materiais permanentes. A diferença entre esses produtos depende da espessura. As geomantas são mais espessas, possibilitando maior preenchimento e retenção de solo em sua estrutura, enquanto os geotêxteis e geogrelhas, tridimensionais, têm maior resistência à tração, sendo mais próprios em locais em que as propriedades mecânicas sejam mais significativas (VERTEMATTI, 2015).

2.5 O MODELO USLE/RUSLE NA PREDIÇÃO DE PERDA DE SOLO

São remotas as iniciativas de prever a perda de solo por erosão hídrica pluvial. Cook (1936) apresentou os conceitos fundamentais organizados numa fórmula para realizar previsão a erosão hídrica pluvial, enquanto Zingg (1940) publicou a primeira fórmula matemática de previsão da perda de solo. Essa fórmula continha apenas a declividade e o comprimento do declive como fatores determinantes da perda de solo. Com o avanço de estudos em conservação do solo nos EUA, novos conceitos e avançados matemáticos foram adicionados às equações existentes. Concomitantemente, foi criada uma alta quantidade de dados de perda de solo. Isso ocorreu graças a um forte investimento governamental em pesquisas sobre erosão do solo estimulado pela consciência coletiva sobre a importância dessa área de conhecimento no campo científico. Com base nesses dados, Wischmeier e Smith (1978) publicaram a Equação Universal

de Perda de Solo (Universal Soil Loss Equation – USLE), cuja equação geral é apresentada na sequência.

$$A = R * K * L * S * C * P, \text{ em que:} \quad (1)$$

A = perda média anual de solo estimada pela equação ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

R = fator erosividade da chuva e do escoamento superficial dela originado ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

K = fator erodibilidade do solo ($t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

L = fator comprimento do declive (adimensional);

S = fator inclinação do declive (adimensional);

C = fator cobertura e manejo do solo (adimensional); e

P = fator prática conservacionista de suporte (adimensional).

Novos progressos de pesquisa nessa área permitiram formular e publicar a USLE revisada, denominada de Equação Universal de Perda de Solo Revisada (Revised Universal Soil Loss Equation – RUSLE) (RENARD et al., 1997). A RUSLE apresenta a mesma fórmula geral da USLE. Os avanços dessa nova versão do modelo foram obtidos por meio de novos métodos de obtenção de cada um dos fatores, individualmente.

A RUSLE é resultado de um importante avanço da USLE, contendo o exame de dados de estudos que não existiam quando a USLE foi finalizada. O conhecimento para juízo dos fatores foi modificado e novos dados foram incorporados ao modelo para analisar circunstâncias mais específicas. As principais modificações na RUSLE em relação à USLE são a inclusão de mapas de erosão novos e reexaminados, o ajuste do fator erosividade das chuvas, um tratamento alterável no tempo para o fator erodibilidade do solo, uma metodologia absolutamente distinta para aquisição do fator cobertura e manejo do solo, uma nova equação para determinar o fator comprimento de declive, novas equações para o fator declividade do terreno e novas maneiras, por meio de equações matemáticas, para obter valores do fator práticas conservacionistas de suporte (RENARD et al., 1997).

Entre os modelos empíricos de predição de perda de solo disponíveis, a USLE/RUSLE é a mais comum e empregada em todo o planeta. A USLE/RUSLE é a mais usada, devido a facilidade e precisão desejável. Esse modelo utiliza informações básicas e de fácil aquisição, e é o único que contém um grupo de informações global (RISSE et al., 1993; LIU et al., 2001; SANCHIS et al., 2008; BAGARELLO et al., 2012).

2.6 INFLUÊNCIA DA DECLIVIDADE DO TERRENO NAS PERDAS DE SOLO

A declividade do terreno representa a diferença de cota entre um ponto mais elevado, onde normalmente começa a enxurrada, e um ponto mais baixo no terreno, onde geralmente a enxurrada para (BERTOL; CASSOL; MERTEN, 2019). Assim, a declividade influencia fortemente as perdas de solo por erosão hídrica, pois o seu incremento faz aumentar o volume e a velocidade da enxurrada. Com isso diminui a infiltração de água no solo. Ocorre aumento da capacidade de transporte de partículas de solo na enxurrada, e aumento da capacidade de desagregação pela ação cisalhante (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003).

Na USLE o fator S representa a razão de perda de solo que ocorre entre duas declividades; na declividade de 9% o fator S é igual a 1, enquanto em declividade maior do que 9% o fator S é maior do que 1 e em declividade menor esse fator é menor do que 1 (WISCHMEIER; SMITH, 1978). No intervalo de declividade entre 3 a 18% e de comprimento de declive entre 9,1 m e 91,4 m, o modelo permite estimar a perda de solo para qualquer declividade e comprimento de declive, a partir de dados obtidos em campo na declividade 9% e em comprimento de declive de 11 m (chuva simulada) ou 22,1 m (chuva natural), utilizando a equação do fator S dada a seguir.

$$S = 0,065 + 4,56 * \text{sen}\Theta + 65,41 * (\text{sen}\Theta)^2, \text{ em que:} \quad (2)$$

Θ = ângulo do declive.

Para a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (Revised Universal Soil Loss Equation – RUSLE), Renard et al. (1997) sugeriram que a perda de solo deve ser estimada por equações distintas, para declividade maior e menor do 9%, em comprimento de declive maior do que 4,6 m, de acordo com as equações a seguir.

$$S = 10,8 \text{ sen}\Theta + 0,03, \text{ para declividades} < 9\% \quad (3)$$

$$S = 16,8 \text{ sen}\Theta - 0,50, \text{ para declividades} \geq 9\% \quad (4)$$

Para comprimento de declive menor do que a 4,6 m, os autores consideraram que a erosão em sulcos é insignificante em relação à erosão entre sulcos, por isso sugeriram a seguinte equação.

$$S = 3 (\text{sen } \Theta)^{0,8} + 0,56 \quad (5)$$

As equações descritas para o fator S para a USLE/RUSLE são válidas apenas para declives uniformes, ou seja, sem variação de declividade em toda a extensão do declive. Para superfícies côncavas e convexas, Wischmeier e Smith (1978) e Renard et al. (1997) sugeriram um algoritmo que permite ajustar o fator LS para essas condições. Nesse algoritmo, admite-se que os segmentos apresentem o mesmo comprimento de declive entre si e que a declividade seja uniforme dentro de cada um dos segmentos. Dessa maneira, a perda de solo estimada será mais próxima do real, comparada à perda estimada para o declive inteiro, considerando a declividade média em toda sua extensão, independentemente se o declive for côncavo ou convexo.

$$\mathbf{FPS} = [i^{m+1} - (i-1)^{m+1} / (N^{m+1})], \text{ em que:} \quad (6)$$

FPS = Fração de perda de solo (adimensional);

i = nº de ordem do segmento de declive;

m = expoente da equação no cálculo do fator L; e

N = nº total de segmentos de igual comprimento em que o declive foi dividido.

2.7 INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DE DECLIVE NAS PERDAS DE SOLO

O comprimento de declive é caracterizado como o espaço entre o ponto onde o escoamento superficial inicia, não sendo necessariamente o mais alto no declive, até o ponto onde o escoamento superficial alcança uma rede de drenagem ou um canal definido, de modo tal que esse deixa de percorrer. Na USLE, o fator L demonstra a relação da perda de solo que estimada em um certo comprimento de declive com a perda de solo que acontece no comprimento de 22,1 m, para o caso de perda de solo observada em parcela padrão sob chuva natural, ou no comprimento de 11 m para o caso de perda de solo observada em parcela padrão sob chuva simulada (WISCHMEIER; SMIT, 1978).

Para comprimento de declive igual a 22,1 m, ou 11 m, o fator L é igual a 1, enquanto para comprimento maior do que 22,1 m ou 11 m o fator L é maior do que 1 e para comprimento menor do que 22,1 m ou 11 m esse fator é menor do que 1. O cálculo do fator L para a versão USLE do modelo é feito utilizando a equação que segue.

$$\mathbf{L} = (\lambda/22,1)^m, \text{ em que:} \quad (7)$$

L = fator L (adimensional);

λ = comprimento do declive (m); e

m = expoente variável conforme a declividade do terreno (adimensional).

Na USLE, o valor do expoente m é 0,5 quando a declividade é maior do que 5%; 0,4 para declividade entre 3,5 e 4,5%; 0,3 para declividade entre 1 e 3%; e 0,2 para declividade menor do que 1% Wischmeier e Smith (1978). A perda de solo (A) observada na parcela padrão para chuva natural (22,1 m) é multiplicada pelo valor do fator L decorrente da associação entre o comprimento de declive para o qual se quer prever a perda de solo e o comprimento da parcela-padrão, com finalidade de estimar a perda de solo para qualquer comprimento de declive diferente da parcela-padrão.

Na RUSLE, a equação básica utilizada para calcular o fator L é a mesma da versão USLE (equação 7), conforme consta em Renard et al. (1997). No entanto, o valor do expoente m desta equação não é limitado a 0,5 para declividade igual ou maior do que 5%, na RUSLE, como é o caso para a USLE, mas, calculados, pela seguinte equação (algoritmo), desenvolvida por Foster e Meyer (1977).

$$m = \beta / (1 + \beta), \text{ onde:} \quad (8)$$

β = razão entre erosão em sulcos e erosão em entre sulcos, portanto, variável conforme a resistência do solo ao sulcamento. O valor de β , por sua vez, é calculado pela seguinte equação, sugerida por McCool et al. (1989).

$$\beta = (\text{sen}\theta / 0,0896) / [3(\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,56], \text{ onde:} \quad (9)$$

θ = seno do ângulo do declive.

Em pesquisas de erosão hídrica sob chuva simulada usando simulador chuva de braços rotativos (SWANSON, 1965; BERTOL, BERTOL, BARBOSA, 2012), a declividade padrão da parcela é 9% e o comprimento de declive padrão é de 11 m, para o modelo USLE/RUSLE. Assim, os resultados de perda de solo obtidos nessas condições são válidos para esse limite de declividade e de comprimento de declive. No entanto, os dados de perda de solo obtidos em campo podem ser extrapolados para comprimento mais longo, até 91,4 m, e para declividade maior, até 18%, de acordo com os princípios do modelo, cujos valores, combinados, resultariam em fator LS de aproximadamente 6,5. Ainda, a perda de solo poderá ser estimada para

declividade de até 50%, caso o comprimento de declive seja limitado a 11 m, cuja combinação resultaria em fator LS de aproximadamente 11.

3 HIPÓTESES

- a) A biomanta e a geomanta diminuem a erosão hídrica do solo em relação ao solo descoberto, devido à proteção do solo ocasionada pelos geossintéticos.
- b) A biomanta e a geomanta associadas ao cultivo de aveia diminuem a erosão hídrica do solo em relação aos geossintéticos sem aveia, devido à proteção do solo promovida pela aveia.
- c) A biomanta e a geomanta aumentam a infiltração de água no solo em relação ao solo descoberto, devido à diminuição de volume e velocidade da enxurrada.
- d) A biomanta e a geomanta associadas ao cultivo de aveia aumentam a infiltração de água no solo em relação aos geossintéticos sem aveia, devido à diminuição de volume e velocidade da enxurrada.
- e) A biomanta difere da geomanta no que se refere ao efeito sobre a erosão hídrica do solo, devido à diferença entre elas quanto ao efeito físico e mecânico na superfície do solo.

4 OBJETIVOS

4.1. GERAL

Determinar as perdas de solo e água por erosão hídrica em solo protegido com biomanta e geomanta, na presença e na ausência de cultivo com aveia, e em solo sem as mantas e a aveia, em condição de chuva simulada sobre um Cambissolo Húmico.

4.2. ESPECÍFICOS

- a) Determinar o efeito de biomanta e de geomanta sobre as propriedades físicas, perdas de solo e água.
- b) Determinar o efeito do cultivo de aveia preta sem biomanta e geomanta sobre as propriedades físicas, perdas de solo e água.
- c) Determinar o efeito do cultivo de aveia combinado à biomanta e geomanta sobre as propriedades físicas, perdas de solo e água.
- d) Determinar o efeito do solo preparado com uma escarificação e duas gradagens, sem a biomanta, a geomanta e aveia, sobre as propriedades físicas, perdas de solo e água.
- e) Estimar as perdas de solo para declividade de 30% com base nas perdas de solo determinadas em declividades entre 10% e 15%, por meio do fator declividade do terreno (fator S) da USLE.
- f) Relacionar as perdas de solo e perdas de água entre si e com os tratamentos estudados.

5 MATERIAL E MÉTODOS

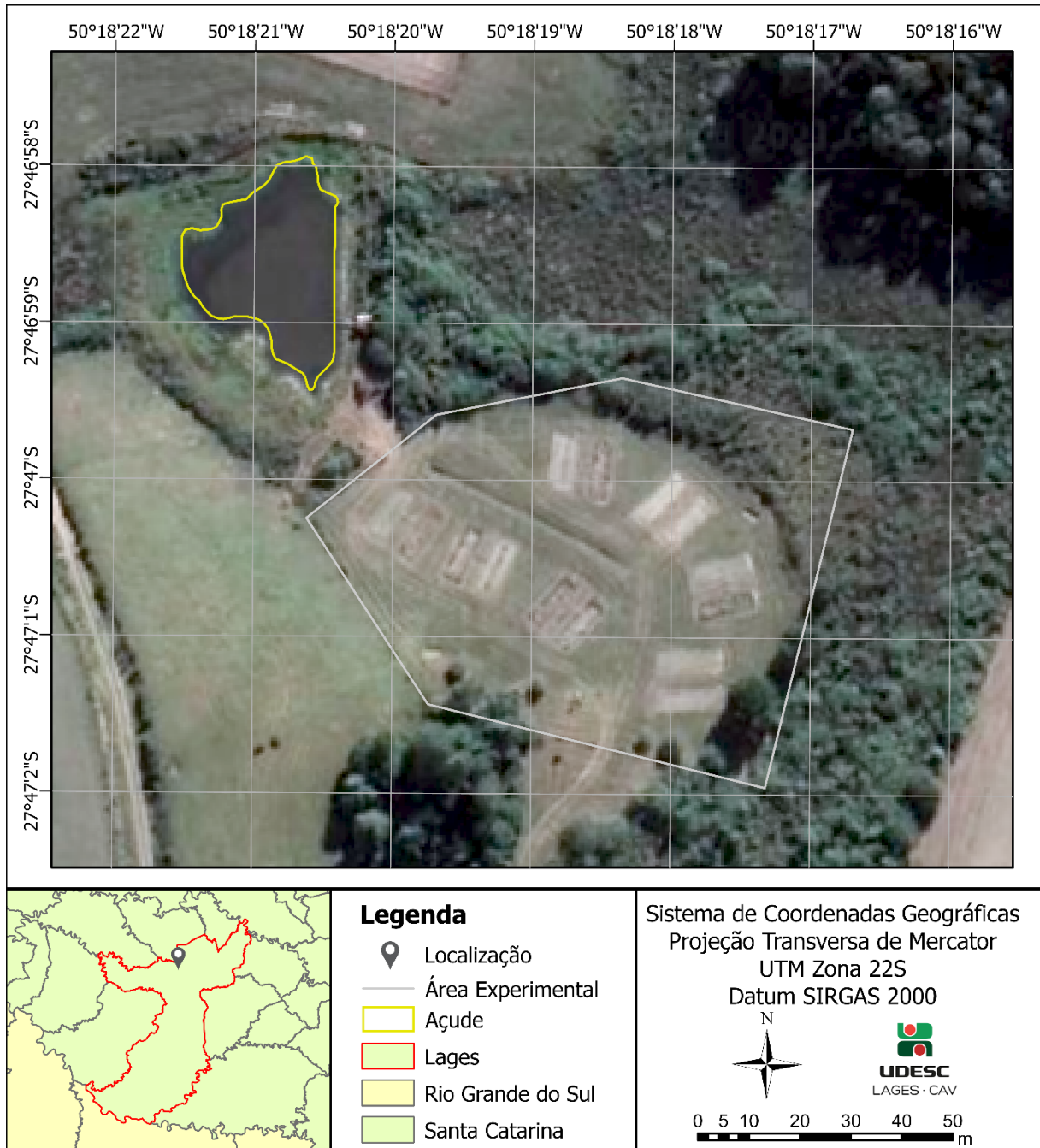
5.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Lages, Santa Catarina, na área experimental do Setor de Conservação do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Essa área está localizada na coordenada 27°47'0,38" de latitude sul e 50°18'18,90" de longitude oeste (figura 1). O relevo é definido como suave-ondulado, com altitude entorno de 904 m e a declividade média no local do experimento é de 12,5%, variando de 10% a 15%, conforme levantamento planialtimétrico realizado com a estação total da marca DAD modelo DTM622R e posteriormente confirmado com RTK da marca Trimble modelo R8s (figura 2).

O clima no município de Lages é classificado como Cfb (temperado, úmido, sem estação seca, com verão fresco), de acordo com a classificação Köppen, descrito em Alvares et al. (2014). Conforme Epagri (2021), a temperatura média no ano de 2020 foi de 16,5°C. Durante esse período, a temperatura média mensal variou 9,5°C, sendo janeiro o mês mais quente do ano com uma temperatura média de 21,1°C e julho o mês mais frio com temperatura média de 11,6°C. No mesmo intervalo de tempo a chuva anual foi de 1.140 mm. As precipitações médias mensais foram de 95mm, sendo dezembro o mês de maior precipitação com 167mm e o mês de março o mais seco com 28mm (figura 3). Schick et al. (2014a) determinaram índice de erosividade (EI30) de 5.033 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ para esta região.

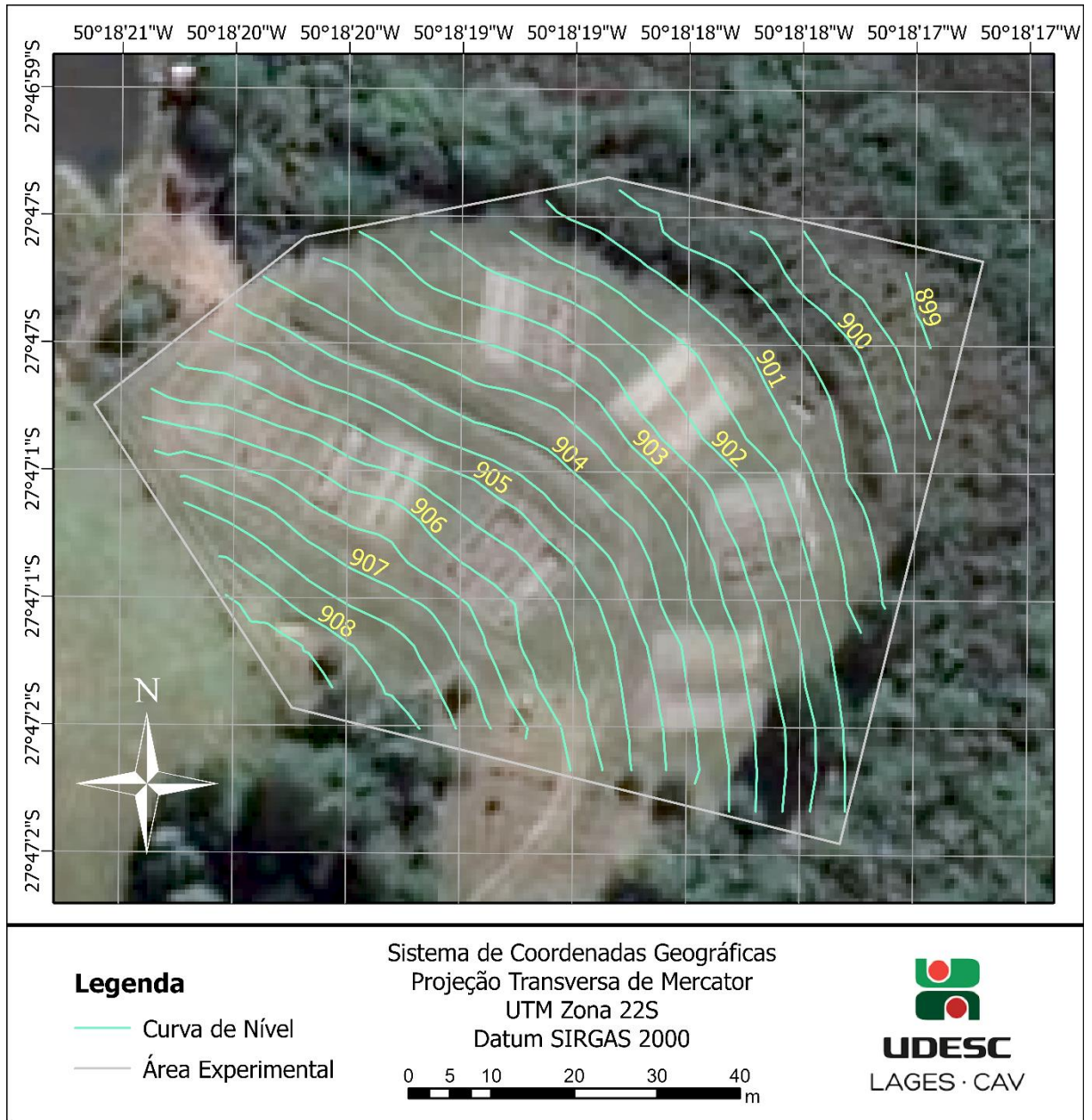
Segundo CPRM (2016), o material de origem do solo na área pertence a formação Rio do Rastro, inserida entre a época do Lonpigiano do período Permiano e a época Inferior do período do Triássico. O solo do local é classificado como Cambissolo Húmico Alumínico léptico de acordo com Embrapa (2013), de textura franco-argilo-siltosa, com granulometria média de 196 g kg⁻¹ de areia, 412 g kg⁻¹ de silte e 392 g kg⁻¹ de argila (RAMOS, 2015). Bertol e Almeida (2000) definiram que para o Cambissolo estudado a tolerância de perda de solo igual a 0,74 mm ano⁻¹. A erodibilidade do solo é de 0,0175 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ (SCHICK et al., 2014b).

Figura 1: Vista aérea e localização da área experimental onde a pesquisa foi realizada, no Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.



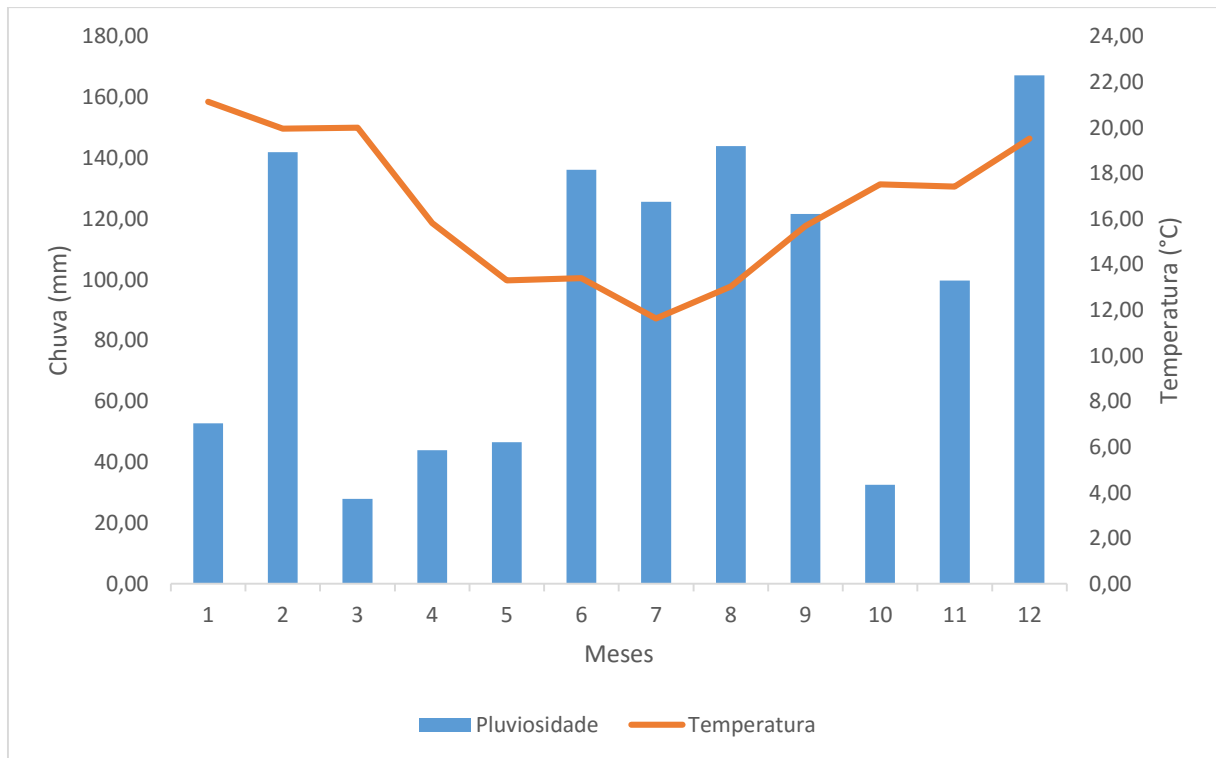
Fonte: elaborado por Kathleen Stramosk, 2021.

Figura 2: Mapa com vista aérea e com as curvas de nível, em altimetria, da área experimental onde a pesquisa foi realizada, no Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.



Fonte: elaborado por Kathleen Stramosk, 2021.

Figura 3: Distribuição mensal da chuva e temperatura no município de Lages para o ano de 2020 (Epagri, 2021).



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Na área experimental, as pesquisas sobre erosão hídrica do solo com simulação de chuva foram iniciadas em 2006. Antes disso a vegetação do local era constituída por campo nativo. Nesse ano o cultivo de inverno foi realizado com ervilhaca (*Vicia sativa L.*) e aveia preta (*Avena strigosa Schreb.*), seguido de outras culturas para manutenção do sistema de rotação. No ano agrícola 2009/2010 implantou-se as culturas de milho (*Zea mays L.*), soja (*Glycine max L.*), feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) e o consórcio de milho e feijão, para fins de pesquisa. No inverno de 2010 a área recebeu a cultura do trigo (*Triticum aestivum L.*) e na safra de verão 2010/2011 as culturas da soja e milho (semeados no sentido e perpendicular ao declive). O cultivo de inverno de 2011 foi de ervilhaca e azevém (*Lolium multiflorum Lam.*). No ano de 2013, seguiram-se os cultivos de aveia preta e posteriormente soja, sob semeadura direta. O cultivo de inverno de 2014 foi com aveia preta. Entre agosto de 2016 e maio de 2017 foram cultivados milho e soja, ficando seus restos culturais sobre o solo até agosto de 2017. A última pesquisa antes desta, realizada na área experimental, ocorreu entre agosto a dezembro de 2017 em que o solo foi manejado da seguinte maneira: plantio de cebola (*Allium cepa L.*) sem preparo prévio do solo, com sulcamento apenas na linha de plantio, sobre o resíduo cultural do milho e da soja remanescente; plantio de cebola em solo preparado com uma aração + duas gradagens +

destorroamento manual com enxada, sobre o resíduo cultural do milho e da soja remanescente. Entre dezembro de 2017 e dezembro de 2019 o solo permaneceu em pousio, conforme figura 4.

Figura 4: Vista de uma unidade experimental (parcela) com o solo em pousio na área experimental do Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.



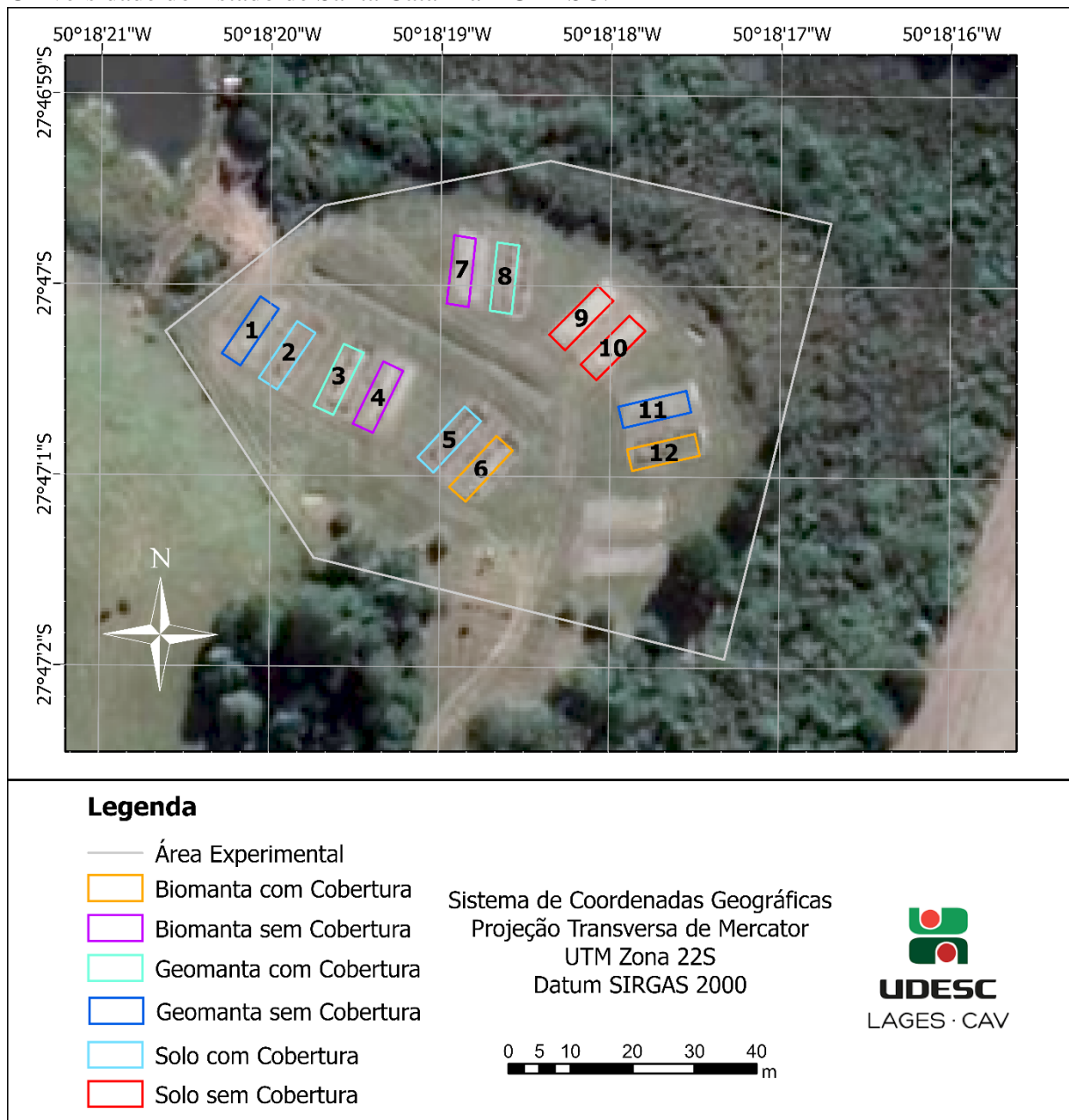
Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

5.2 CONSTITUIÇÃO DO EXPERIMENTO E PROCEDIMENTOS DE INSTALAÇÃO DA PESQUISA

5.2.1 Tratamentos

A pesquisa consistiu na implementação de seis tratamentos, em campo, com duas repetições. Os seis tratamentos foram estruturados conforme demonstrado na figura 5, como segue: T1 - Manta biodegradável (biomanta) sem cobertura vegetal (BSC). T2 - Manta biodegradável (biomanta) com cobertura vegetal (BCC). T3 - Manta não biodegradável (geomanta) sem cobertura vegetal (GSC). T4 - Manta não biodegradável (geomanta) com cobertura vegetal (GCC). T5 - Solo com cobertura vegetal e sem manta (SCC). T6 - Solo sem cobertura e sem manta (SSC), testemunha.

Figura 5: Vista aérea de disposição espacial das parcelas e tratamentos na área experimental do Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.



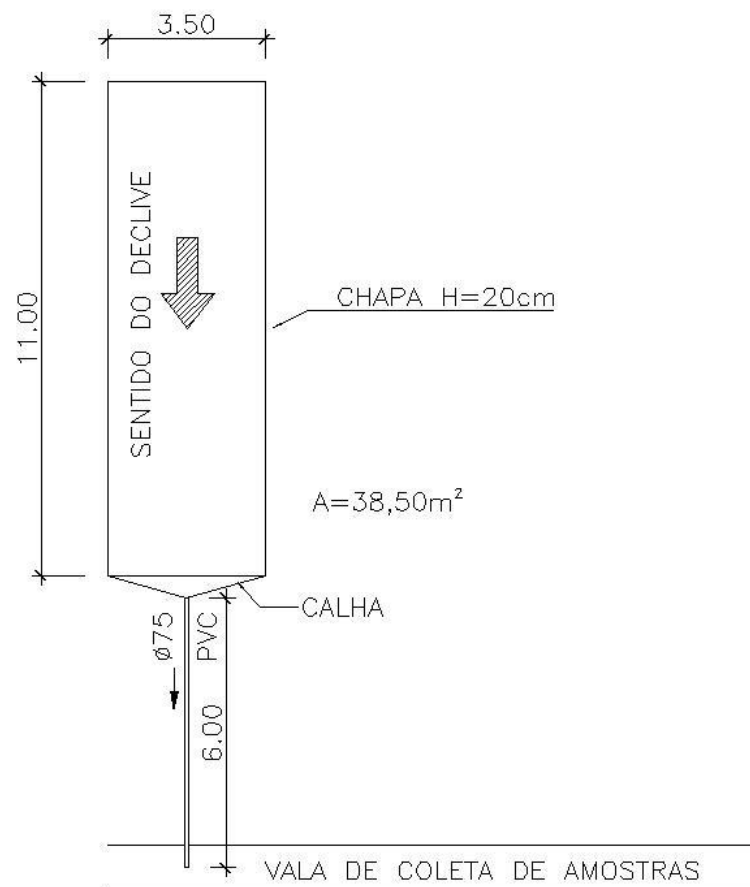
Fonte: elaborado por Kathleen Stramosk, 2021.

5.2.2 Unidade experimental, ou parcela

Nesse experimento cada repetição consistiu em uma unidade experimental, ou parcela, com dimensões de 11 m de comprimento no sentido do declive e 3,5 m de largura, totalizando 38,5m² (Figura 6). Em cada parcela, a delimitação das laterais e da extremidade superior foi feita com chapas galvanizadas de 0,2 m de altura, cravadas 0,1 m no solo, e na extremidade

inferior foi acoplada uma calha que era conectada a um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro e 6 m de comprimento com a função de direcionar o escoamento superficial até uma trincheira onde eram coletadas as amostras de enxurrada.

Figura 6: Detalhes de uma unidade experimental, ou parcela, utilizada na pesquisa localizada na área experimental do Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

5.2.3 Características da geomanta e biomanta

A geomanta consiste num produto reforçado, fabricado a partir de filamentos poliméricos fundidos em todos os pontos de contato (figura 7). Mostra elevada flexibilidade, sendo tridimensional, apresentando mais de 90% de espaços vazios. É especialmente desenvolvida para o controle da erosão superficial do solo em taludes e cursos hídricos. Esse produto se apresenta em rolos de diâmetro médio de 68 cm, com 2 metros de largura e 50 metros de comprimento, o que resulta numa área de 100 m², cujo peso é de 40 kg. As suas propriedades

físicas e mecânicas estão relacionadas na tabela 1, conforme informações fornecidas pelo fabricante.

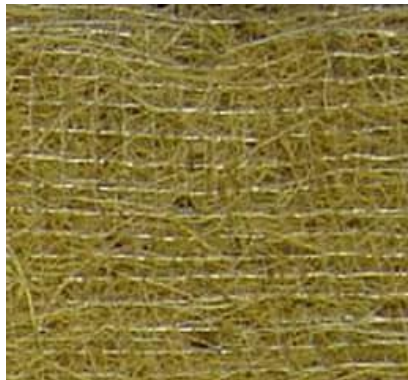
Figura 7: Geomanta utilizada na pesquisa desenvolvida do Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.



Fonte: Maccaferri, 2017.

A biomanta utilizada nesse trabalho é produzida com fibra de coco, com alta resistência e degradação lenta, contida entre duas linhas de polipropileno foto degradável e entrelaçadas com adesivos orgânicos (figura 8). Geralmente é utilizada como proteção superficial de taludes contra a erosão. As fibras de coco, ao se decomporem, se transformam em uma camada de material orgânico que favorece o crescimento da vegetação. A biomanta é disponibilizada no mercado em rolos, com largura de 2,2 metros e comprimento de 50 metros, o que resulta em uma área de 110 m², cujo peso é de 49,5 kg. As suas propriedades físicas e mecânicas estão relacionadas na tabela 2, conforme informações fornecidas pelo fabricante.

Figura 8: Biomanta utilizada na pesquisa desenvolvida do Setor de Conservação do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.



Fonte: Maccaferri, 2011.

Tabela 1: Propriedades físicas e mecânicas da geomanta usada na pesquisa.

Propriedades	Características	Norma técnica
Espessura (mm)	15	ASTM D5199
Gramatura (g m^{-1})	≥ 400	ASTM D5261
Índice de vazios (%)	> 90	-
Cor	Verde	-
Polímero predominante	Poliétileno	-
Temperatura de fragilidade do polímero predominante ($^{\circ}\text{C}$)	-35	ASTM D746
Resistência UV do polímero predominante	Estabilizado	ASTM D4355
Resistência à tração longitudinal (kN m^{-1})	≥ 4	ASTM D4595
Alongamento na ruptura longitudinal (%)	≤ 30	ASTM D4595
Resistência à tração transversal (kN m^{-1})	≥ 3	ASTM D4595
Resistência na ruptura transversal (%)	≤ 30	ASTM D4595
Resistência ao rasgo longitudinal (kgf)	5 ± 2	DIN 53363
Resistência ao rasgo transversal (kgf)	5 ± 2	DIN 53363

ASTM= American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana para Ensaios e Materiais) e DIN= Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão para Normatização).

Fonte: Elaborado pelo autor conforme informações fornecidas pelo fabricante, 2020.

Tabela 2: Propriedades físicas e mecânicas da biomanta usada na pesquisa.

Propriedades	Características	Norma técnica
Gramatura mínima nominal (g m^{-2})	400	ASTM D5261
Espessura nominal (mm)	11	ASTM D5199
Resistência à tração (kN m^{-1})	0,71	ASTM D5035
Alongamento (%)	14,2	ASTM D5035
Absorção de água (%)	73	ASTM D1117
Penetração de luz (%)	15	

ASTM= American Society for Test and Materials (Sociedade Americana para Ensaios e Materiais).

Fonte: Elaborado pelo autor conforme informações fornecidas pelo fabricante, 2020.

5.2.4 Implantação da pesquisa

No dia 10 de dezembro de 2019 foi realizado preparo do solo, inicialmente com uma operação de escarificação. O escarificador continha 12 hastes de 47 cm de comprimento, dispostas em duas linhas desencontradas. Seis hastes na linha da frente e sete posicionadas na linha de trás, de modo que a distância entre hastes era de 30 cm. No dia 19 de dezembro uma operação de gradagem foi realizada sobre a área escarificada, com uma grade que continha 32 discos. Os discos mediam 48 cm de diâmetro, dispostos em duas linhas. Dezesesseis discos recortados na linha da frente e 16 discos lisos na linha de atrás. As duas operações de preparo foram realizadas no sentido do declive, exceto na área próxima da calha onde o preparo foi realizado em contorno para evitar sua danificação.

A instalação dos tratamentos foi iniciada no dia 20 de dezembro de 2019. Previamente, amostras do solo foram coletadas para determinar as propriedades químicas e físicas nos locais onde os tratamentos seriam instalados. A análise acusou necessidade de $3,7 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico no local onde seria instalado o tratamento BCC. Em seguida, realizou-se a quebra dos torrões e a regularização da superfície do solo, de forma manual, para colocação dos geossintéticos nos tratamentos BCC e GCC, com auxílio de enxada e rastelo. A biomanta e geomanta foram instaladas conforme recomendações do fabricante. Foram presas no topo da parcela com gancho de ancoragem de aço CA-50 no formato de “U” na dimensão $5 \times 17 \text{ cm}$ e diâmetro da barra de $6,2 \text{ mm}$. A manta geossintética foi desenrolada na superfície do solo ao longo do declive, com sobreposição lateral mínima de 30 cm nos panos, e também fixada com ganchos de ancoragem (Figura 9). Na sequência foi realizada semeadura, manualmente a lanço, de braquiária (*Brachiaria brizantha*) para gerar cobertura do solo no verão (figura 10). Usou-se 20 kg ha^{-1} de semente. Nos tratamentos com biomanta e geomanta essa operação foi realizada em duas etapas, a primeira imediatamente após a instalação das mantas e a segunda após cobrimento das mantas com uma camada de solo de 2 a 3 cm de solo mesma área experimental, conforme orientação do fabricante para semeadura manual (figura 11). A germinação da braquiária foi completamente prejudicada devido à prolongada estiagem na região.

Devido ao problema de germinação da braquiária, resolveu-se eliminar a vegetação espontânea que germinara, com glifosato, no dia 21 de fevereiro de 2020. Assim, no dia 8 de abril de 2020 foi realizada semeadura de aveia preta, manualmente a lanço, com 90 kg ha^{-1} de semente, incorporada manualmente com enxada. A germinação da aveia foi incompleta e, por isso, no dia 4 de maio de 2020 foi realizada uma ressemeadura em alguns pontos de algumas parcelas com biomanta e geomanta. A incorporação das sementes novamente foi feita manualmente com enxada.

No dia 22 de agosto de 2020 foi realizada a instalação dos tratamentos sem cobertura vegetal. Para isso, o solo foi destorroado e eliminadas as espécies vegetais para regularização da superfície. Fez-se a instalação dos geossintéticos, os quais foram cobertos com uma camada de 2 a 3 cm de solo.

Figura 9: Parcela com biomanta colocada na superfície do solo com uma sobreposição mínima de 30 cm sobre panos na área experimental do Setor de Conservação do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 10: Semeadura de braquiária a lanço em parcela da área experimental do Setor de Conservação do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 11: Parcela com biomanta recebendo uma camada de solo de 2 a 3 cm na área experimental do Setor de Conservação do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

5.3 SIMULADOR DE CHUVA E CHUVA SIMULADA

O simulador de chuva utilizado é do tipo empuxo, de braços rotativos, desenvolvido por Bertol, Bertol e Barbosa (2012), contendo 10 braços de 7,5 m de comprimento cada um, ligados a uma torre central a 2,4 m de altura, atuando sobre uma área de 314,16 m². O simulador de chuva operou sincronicamente sobre duas parcelas, as quais estavam distanciadas 3,5 m uma da outra, em cujo espaço se situou o simulador (figura 12). A água utilizada na simulação de chuva foi proveniente de açude próximo, conforme figura 1.

Foram efetuados quatro testes de chuva simulada. Cada teste, realizado num mesmo dia, compreendeu seis chuvas, uma em cada tratamento, totalizando 24 chuvas durante a fase de campo da pesquisa. As chuvas tiveram a duração de 60 minutos e intensidade constante planejada para 100 mm h⁻¹, de acordo com o período de retorno de aproximadamente 150 anos para a região (CARDOSO; ULLMANN; BERTOL, 1998). Os testes de chuva ocorreram em 2020, nos dias 29 de agosto, 26 de setembro, 24 de outubro e 14 de novembro. O intervalo de tempo entre um e outro teste de chuva de 3 a 4 semanas, de acordo com as condições climáticas, tempo suficiente para o secamento do solo.

Figura 12: Simulador de chuva com braços rotativos tipo empuxo realizando teste de chuva em duas parcelas simultaneamente em um Cambissolo Húmico em Lages SC.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

5.4 PROCEDIMENTOS DE CAMPO E LABORATÓRIO PARA COLETA E PROCESSAMENTO DE AMOSTRAS

5.4.1 Determinação antes e depois da aplicação das chuvas simuladas

Foram coletadas amostras de solo na condição de pousio no dia 27 de agosto de 2019, antes de instalar os tratamentos, e após aplicação das quatro chuvas simuladas ao final da pesquisa no dia 21 de novembro de 2020. Assim, o intervalo entre os dois momentos de coleta foi de 452 dias. As amostras do solo foram coletadas em estado deformado e indeformado, nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm a partir da superfície ou do geossintéticos, na posição central de cada parcela.

Nas amostras deformadas, foram determinadas a densidade das partículas (Método do balão volumétrico) e a estabilidade de agregados em água – DMP (Método do balanceamento por via úmida padrão). A estabilidade de agregados foi realizada por peneiramento úmido, conforme o método padrão de Yoder (1936), sendo expressa pelo diâmetro médio ponderado calculado conforme a metodologia descrita por Kemper e Chepil (1965). Nas amostras não deformadas, a densidade do solo foi determinada por pesagem e o volume de poros (total, macro, micro e bioporos) por sucção em mesa de tensão de areia. A variação temporal destas

propriedades físicas correspondeu a subtração do resultado obtido depois da instalação dos tratamentos com o valor obtido no estado de pousio, em um mesmo tratamento e camada.

5.4.2 Determinação no dia de aplicação da chuva simulada

Imediatamente antes de aplicar cada uma das chuvas simulada, foram coletadas amostras de solo, em um ponto na posição central de cada parcela, na profundidade de 20 cm, com auxílio de um trado holandês, para determinação da umidade do solo em base gravimétrica, seguindo a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

O tempo de início da enxurrada foi registrado em cada evento de chuva em cada unidade experimental, com auxílio de um cronômetro, a partir do início da chuva simulada. A velocidade da enxurrada foi determinada após 40 minutos do início da chuva, nas parcelas sem aveia, no momento de taxa de enxurrada constante, de acordo com metodologia descrita por Bertol (1995). Para avaliar a velocidade, foi lançado um corante a base de azul de metileno (2%), sobre o fluxo. Isso foi feito com auxílio de uma pisseta, num ponto situado 2,5 m abaixo da extremidade superior da parcela e foi cronometrado o tempo necessário para o corante percorrer 6 m, até 2,5 m acima da extremidade inferior da parcela. Com esse tempo foi calculado a velocidade média da enxurrada na superfície do solo.

A taxa instantânea de descarga foi determinada a cada 5 min a contar do início do escoamento. Para isso, foi coletado o volume do escoamento superficial e o tempo de duração da coleta, anotando-se o volume e o tempo, com auxílio de uma proveta graduada de 2 litros ou um balde graduado de 15 litros e de um cronômetro. Concomitantemente foram coletadas amostras da enxurrada em potes plásticos numerados, de massa conhecida com capacidade de 0,8 litros, preenchendo-o totalmente, para determinação da concentração de sedimentos. Com os dados obtidos foram calculadas as perdas de solo e água com auxílio do programa PODEROSÃO.

A avaliação de distribuição de tamanho dos sedimentos na enxurrada e o cálculo do D_{50} (diâmetro médio) seguiu as recomendações descritas em Cogo, Moldenhauer e Foster (1983). Segundo Bertol et al. (2010) o D_{50} representa um diâmetro de sedimentos em que 50 % da massa destes apresenta tamanho maior e 50 %, tamanho menor do que o diâmetro em questão. As amostras de enxurrada foram coletadas, após 40 minutos do início da chuva quando a enxurrada estava constante. Para isso, um conjunto de quatro peneiras, com malhas de 2; 1; 0,5; e 0,25 mm sobrepostas da maior malha para a menor, foram acopladas sobre balde de 1,5 litros. Este conjunto foi posicionado sob o fluxo até o preenchimento do balde. Ainda em campo, os

sedimentos retidos em cada peneira foram transferidos para potes plásticos com tampas, com 0,2 L, identificados conforme o tamanho da malha. A transferência foi realizada com auxílio do jato de água usando “pisseta”. Ao término da avaliação esses potes foram levados ao laboratório para processamento.

Pluviômetros, em número de 20, foram distribuídos na área sob simulador, abrangida pela chuva simulada, cada um representando uma área de captação de água de 52,81 cm². Ao final da chuva foram efetuadas a leitura do volume de água pelos pluviômetros, com ajuda de uma proveta graduada (mL) e, com os dados, foram calculadas a intensidade real de chuva recém aplicada, conforme fórmula descrita por Barbosa (2011).

5.5 ORGANIZAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

5.5.1 Ajuste de dados

Em razão das variações verificadas na intensidade entre uma e outras chuvas simuladas e na declividade do terreno entre uma e outras parcelas, os dados de perda total de solo foram ajustados com auxílio do programa PODEROSÃO. O ajuste foi para a intensidade de chuva planejada de 100 mm h⁻¹ e para a declividade média das parcelas de 30% para fins de simulação em encostas.

Para consecução do fator de correção com base na intensidade da chuva, o programa PODEROSÃO dividiu o valor planejado pela intensidade de chuva observada, elevando o resultado ao quadrado. Esse resultado foi multiplicado pela perda total de solo observada. Realizado esse ajuste, os dados de perda total de solo já ajustados para a intensidade da chuva foram ajustados para a declividade média das parcelas de 30%. Este ajuste foi realizado multiplicando-se a perda de solo ajustada para a intensidade de 100 mm h⁻¹ pelo valor que resultou da divisão do fator S de 30% pelo fator S do declive de cada parcela, conforme metodologia de Wischmeier e Smith (1978) para USLE.

5.5.2 Análise estatística

Os dados obtidos em campo apresentaram elevadíssimo coeficiente de variação entre tratamentos, por isso decidiu-se não apresentar aqui o resultado da análise estatística convencional realizada. Assim, os dados estão apresentados somente com a média, coeficiente de variação (CV) e os resultados discutidos numericamente.

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

6.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO DETERMINADAS IMEDIATAMENTE ANTES DE INSTALAR OS TRATAMENTOS

A densidade do solo imediatamente antes de instalar os tratamentos (DS-AN) variou entre 1,03 e 1,49 g cm⁻³ (tabela 3). Na camada de 0-2,5 cm encontrou-se o maior intervalo de valores, entre 1,03 e 1,30 g cm⁻³, respectivamente nos tratamentos GCC e BSC (diferença de 26%). Na camada de 2,5-5 cm houve a menor diferença entre tratamentos (3,4%). Nas duas camadas mais profundas o intervalo de valores entre os tratamentos foi de 8 e 13%. Entre as camadas do solo, o maior intervalo entre os valores de DS-AN foi de 44% no tratamento GCC, enquanto no BSC houve o menor intervalo (14%). Nos demais tratamentos os resultados situaram-se em torno da média, com variação de 21%. A média dos valores de densidade do solo obtidos na camada de 5-10 cm na presente pesquisa (1,46 g cm⁻³) foram 12% maiores do que os determinados por Wolschick (2014) (1,30 g cm⁻³).

A porosidade total do solo imediatamente antes de instalar os tratamentos (PT-AN) apresentou amplitude de valores entre 42 e 58% (tabela 3). Na camada de 0-2,5 cm houve o maior intervalo de valores entre tratamentos (12%), enquanto na camada 2,5-5 cm ocorreu o menor intervalo (2%). Entre camadas, a maior diferença de valores (14%), ocorreu no tratamento GCC, enquanto no BSC houve a menor diferença (4%). As duas camadas superficiais do solo apresentaram resultados semelhantes aos obtidos por Miranda (2008) para um Cambissolo Háptico em períodos de pousio de 2 e 5 anos, enquanto na camada de 5-10 cm os dados desta pesquisa foram semelhantes aos daquele autor apenas no pousio de 2 anos e na camada de 10-20 cm para o pousio de 5 anos. No geral, em comparação aos dados de Wolschick (2014), os valores obtidos de PT-AN desta pesquisa foram ligeiramente menores para todas as camadas do solo.

O volume de macroporos do solo imediatamente antes de instalar os tratamentos (MA-AN) variou entre 6 e 29% (tabela 3). Na camada 0-2,5 cm houve uma diferença de 16% entre o maior e o menor valor, enquanto nas demais camadas os valores variaram aproximadamente 5%. No tratamento GCC ocorreu a maior diferença entre as camadas (20%), enquanto no GSC ocorreu a menor diferença de valores (3%). No trabalho de Wolschick (2014), nas camadas de 0-5 e 5-10 cm o volume de macroporos foi da ordem de 15 e 13%, e foram em geral maiores do que os obtidos nesta pesquisa nas camadas 0-2,5; 2,5-5 e 5-10 cm. O autor constatou, para

camada 10-20 cm, volume de macroporos na ordem de 9%, portanto semelhante aos obtidos nesta pesquisa na mesma camada.

O volume de bioporos do solo imediatamente antes de instalar os tratamentos (BP-AN) variou entre 3 e 16% (tabela 3). Na camada 0-2,5 cm houve diferença de 9% entre o maior e o menor valor, enquanto na camada de 2,5-5 cm os valores variaram 2%. No tratamento GCC ocorreu a maior diferença entre as camadas (12%), enquanto no GSC a diferença foi de apenas 1%. Os resultados determinados nesta pesquisa foram maiores do que os dados obtidos por Rosa (2008) para um Cambissolo Háplico sob vegetação espontânea nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Pouco mais da metade dos MA-AN é composto de BP-AN. Dessa maneira, confirmou-se o que consta em Brady e Weil (2002), que, algumas gramíneas e a vegetação perene são especialmente eficientes em formar de bioporos no solo. Após a senescência e decomposição das raízes, formam-se espaços vazios e o material orgânico resultante são adequados ao desenvolvimento de fauna no solo.

A microporosidade imediatamente antes de instalar os tratamentos (MI-AN) variou entre 28 e 40%, com os menores valores ocorrendo no tratamento GCC para as diversas camadas (tabela 3). A camada 0-2,5 cm apresentou maior intervalo entre tratamentos (7%), e a camada 5-10 cm apresentou a menor diferença (3%). O tratamento BSC apresentou o maior espaço entre camadas (10%), e GSC a menor (6%). Em comparação com os resultados obtidos por Wolschick (2014), os valores de MI-AN desta pesquisa foram levemente menores nas camadas de 0-5; 5-10 e 10-20, respectivamente com 37, 38 e 40%.

O diâmetro médio ponderado dos agregados do solo imediatamente antes de instalar os tratamentos (DMP-AN) variou entre 4,7 e 6,1 mm (tabela 3). Na camada 10-20 cm ocorreu a maior diferença entre tratamentos (1,2 mm), enquanto na camada 5-10 cm ocorreu a menor diferença (0,5 mm). O tratamento com maior intervalo de valores entre camadas foi GCC (1,4 mm), ao passo que o tratamento GSC apresentou diferença de apenas 0,2 mm. Os valores de DMP determinados nesta pesquisa considerados elevados, segundo Andrade et al. (2010).

Tabela 3: Valores de densidade (DS-AN), porosidade total (PT-AN), bioporos (BP-AN), macroporos (MA-AN), microporos (MI-AN) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP-AN), determinados no solo em estado de pousio imediatamente antes de instalar os tratamentos, em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições).

(continua)

Tratamento	DS-AN	PT-AN	BP-AN	MA-AN	MI-NA	DMP-AN
	g cm ⁻³	----- % -----				mm
----- Camada de 0 a 2,5cm -----						
GCC	1,03	58	16	29	28	5,8
GSC	1,27	48	7	13	35	5,8
BCC	1,23	48	7	14	35	5,9
BSC	1,30	46	7	15	31	5,7
SCC	1,27	48	11	19	29	5,9
SSC	1,12	53	12	25	28	5,1
Média	1,20	50	10	19	31	5,7
CV (%)	9	9	38	35	10	5
----- Camada de 2,5 a 5,0cm -----						
GCC	1,44	44	7	15	29	6,1
GSC	1,47	43	8	10	33	6,1
BCC	1,44	44	7	11	33	5,9
BSC	1,47	42	8	11	31	6,0
SCC	1,46	42	6	10	32	6,0
SSC	1,42	44	6	12	32	5,0
Média	1,45	43	7	12	32	5,9
CV (%)	1	2	10	15	5	7
----- Camada de 5,0 a 10,0cm -----						
GCC	1,48	44	4	9	34	5,7
GSC	1,37	48	7	12	36	6,0
BCC	1,47	43	4	7	37	5,8
BSC	1,48	44	3	9	35	5,7
SCC	1,49	44	4	7	37	6,1
SSC	1,46	45	5	8	37	5,6
Média	1,46	44	4	9	36	5,8
CV (%)	3	4	35	22	3	3
----- Camada de 10,0 a 20,0cm -----						
GCC	1,35	48	6	12	35	4,7
GSC	1,29	51	7	13	38	6,0
BCC	1,39	47	4	8	40	5,3
BSC	1,4	47	3	6	40	5,1
SCC	1,45	44	4	7	37	5,7
SSC	1,42	45	5	9	37	5,1
Média	1,38	47	5	9	38	5,3
CV (%)	4	5	30	30	5	9

Tabela 3: Valores de densidade (DS-AN), porosidade total (PT-AN), bioporos (BP-AN), macroporos (MA-AN), microporos (MI-AN) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP-AN), determinados no solo em estado de pousio imediatamente antes de instalar os tratamentos, em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições).

(conclusão)

	DS-AN	PT-AN	BP-AN	MA-NA	MI-NA	DMP-AN
Tratamento	g cm ⁻³	%				mm
	----- média geral das camadas -----					
GCC	1,33	48	8	16	32	5,5
GSC	1,35	47	7	12	35	6
BCC	1,38	46	6	10	36	5,7
BSC	1,41	45	5	10	34	5,6
SCC	1,42	45	6	11	34	5,9
SSC	1,36	47	7	13	33	5,2
Média	1,38	46	7	12	34	5,7
CV (%)	3	3	17	21	5	5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

6.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO DETERMINADAS IMEDIATAMENTE APÓS APLICAR AS CHUVAS SIMULADAS

A densidade do solo após aplicar as chuvas simuladas (DS-AP) variou de 1,02 e 1,39 g cm⁻³ (tabela 4). As camadas 0-2,5; 2,5-5 e 5-10 cm do solo apresentaram intervalo de valores de densidade próximo de 0,18 g cm⁻³, enquanto na camada 10-20 cm o intervalo de valores foi da ordem de 0,09 g cm⁻³. Na camada de 0-2,5 cm, nos tratamentos com cobertura vegetal, a densidade foi menor comparada aos demais tratamentos. Na camada de 2,5-5 cm é notório que os tratamentos com geossintéticos apresentaram densidade maior e nessa faixa de solo não foi identificado efeito da cobertura vegetal nos resultados. Na camada de 5-10 cm, os tratamentos GSC, BCC, BSC e SSC mostraram densidade em torno de 1,31 g cm⁻³, enquanto SSC e GCC exibiram respectivamente 1,28 e 1,38 g cm⁻³, sem tendência de comportamento dos resultados. Na camada de 10-20, apesar da pequena variação, os geossintéticos com cobertura vegetal foram os que apresentaram maior densidade em comparação aos tratamentos com geossintéticos descobertos. Nos tratamentos SCC e SSC os valores foram intermediários, com pequena distinção um dos outros. O tratamento GCC foi o que apresentou o maior intervalo de valor entre as diversas camadas (0,37 g cm⁻³), enquanto os demais tratamentos apresentaram espaço entre 0,12 e 0,24 g cm⁻³.

A porosidade total determinada após o final das chuvas simuladas (PT-AP) variou entre 47 e 60% (tabela 4). A porção de solo na faixa de 10-20 cm foi que apresentou dados com

menor intervalo (3%), enquanto as camadas superiores tiveram intervalo dos resultados dos tratamentos entorno de 7%. Para camada de 0-2,5 cm, os tratamentos com cobertura vegetal apresentam maior PT-AP em relação aos descobertos. Na camada de 2,5-5 cm a cobertura vegetal não ocasionou mudança no PT-AP e nesta mesma camada os tratamentos com geossintéticos foram que tiveram menor valor em relação aos demais. Para camada de 5-10 cm, apenas o tratamento com geomanta que teve menor PT-AP quando possui cobertura vegetal em relação seu respectivo descoberto e os tratamentos sem geossintéticos foram os que apresentaram maior porosidade. Na profundidade 10-20cm, os tratamentos com geossintéticos e cobertura vegetal tiveram menores resultados em comparação ao seu correspondente tratamento descoberto. O tratamento GCC foi que apresentou o maior espaço dos resultados entre camadas (13%) enquanto os demais ficaram entorno dos 7% de diferença.

O volume de macroporos presentes no solo após aplicar as chuvas simuladas (MA-AP) apresentou valores que variaram de 8 e 30% (tabela 4). A camada de 2,5-5 cm foi a que apresentou maior diferença dos resultados entre tratamentos (10%), enquanto a camada de 10-20 cm foi que apresentou menor diferença (6%). Na camada de 0-2,5 cm todos os tratamentos com cobertura vegetal apresentaram maior MA-AP em relação seu correspondente descoberto. Para faixa de solo de 2,5-5 cm, os tratamentos sem geossintéticos foram os que apresentaram os maiores valores, onde para os demais tratamentos os resultados ficaram em torno dos 18% e sem efeito da cobertura vegetal nestes. Na profundidade de 5-10 cm o tratamento SCC foi que apresentou maior MA-AP e apenas o tratamento com biomanta não tem aumento com utilização da cobertura vegetal em comparação com seu respectivo tratamento descoberto. Na camada de 10-20 cm o tratamento SCC obteve maior MA-AP cujo valor foi parecido para geossintéticos descobertos. O tratamento GCC apresentou maior diferença dos resultados obtidos nas diversas camadas (20%) enquanto BSC mostrou comportamento oposto (12%). Os demais tratamentos ficaram entorno de 15% de intervalo dos seus resultados entre camadas.

A bioporosidade do solo determinada após realizar as chuvas simuladas (BP-AP) variou entre 6 e 22% (tabela 4). A faixa de solo de 2,5-5 cm foi que apresentou maior intervalo dos resultados entre tratamentos (10%) enquanto a camada de 10-20 apresentou menor diferença (4%). O solo na profundidade de 0-2,5 cm apresentou maior BP-AP nos tratamentos com cobertura vegetal quando comparados seus respectivos descobertos. A camada de 2,5-5 cm apresentou valores entorno de 12% para os tratamentos com geossintéticos descoberto e com cobertura vegetal enquanto os demais obtiveram maiores valores para BP-AP. Na profundidade entre 5-10 cm a cobertura vegetal não aumentou para o tratamento com biomanta em comparação seu correspondente descoberto e que SCC foi o que conseguiu maior resultado. Na

camada de 10-20 cm os tratamentos com geossintéticos descobertos tiveram maior BP-AP quando comparado com seu correlato com cobertura vegetal. O tratamento GCC foi o que apresentou maior diferença dos resultados nas diferentes camadas (14%) enquanto GSC demonstrou comportamento contrário (8%).

A microporosidade do solo depois da instalação dos tratamentos (MI-AP) variou entre 27 e 39% (tabela 4). A camada de 5-10 cm foi que obteve a mais ampla diferença entre os tratamentos (6%), enquanto a camada 0-2,5 cm apresentou comportamento oposto (2%). Para camada 0-2,5 cm todos os tratamentos apresentaram MI-AP em torno de 30%. Na faixa de solo de 2,5-5 cm percebe-se que a biomanta proporcionou maior MI-AP e não sendo possível constatar efeito da cobertura vegetal sobre essa propriedade. Para profundidade de 5-10 cm não foi possível identificar efeito dos geossintéticos sobre essa propriedade onde apenas nos tratamentos com biomanta é que ocorreu maior volume na presença da cobertura vegetal em relação seu correspondente descoberto. Na camada de 10-20 cm o tratamento SCC apresentou menor MI-AP (35%) onde os demais mostraram valores por volta de 38%. O tratamento GSC foi o que apresentou o maior intervalo de seu resultado entre as várias faixas de solo (9%) sendo que os demais apresentaram espaço por volta de 8%.

O diâmetro médio ponderado dos agregados do solo depois da instalação dos tratamentos (DMP-AP), apresentou valores entre 3,6 e 5,5 mm (tabela 4). De maneira geral, os valores são considerados elevados, concordando com Andrade et al. (2010). A camada 10-20 cm foi que apresentou o maior intervalo dos resultados entre tratamentos (1,6 mm), enquanto que as demais camadas apresentaram diferença em torno de 1 mm. Na camada de 0-2,5 cm foi constatado maiores valores de DMP-AP para os tratamentos com cobertura vegetal cujo valor é entorno de 5,4 mm em comparação aos tratamentos descobertos com valores próximos de 4,7 mm. Na faixa de solo de 2,5-5 cm vimos mesmo comportamento descrito anteriormente, contudo, nota-se diminuição de DMP-AP para o tratamento GCC. Na camada 5-10 e 10-20 cm é observado que GCC passou apresentar menor DMP-AP em comparação GSC. Os tratamentos GCC, BSC e SSC foram os que apresentaram os maiores intervalos dos seus resultados ao longo das camadas analisadas com 1 mm de diferença, onde os demais mostraram espaço por volta de 0,5 mm.

Tabela 4: Valores de densidade (DS-AP), porosidade total (PT-AP), bioporos (BP-AP), macroporos (MA-AP), microporos (MI-AP) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP-AP), determinados imediatamente após aplicar as chuvas simuladas, em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições).

(continuação)

	DS-AP	PT-AP	BP-AP	MA-AP	MI-AP	DMP-AP
Tratamento	g cm ⁻³	----- % -----				mm
----- Camada de 0 a 2,5cm -----						
GCC	1,02	60	21	30	30	5,3
GSC	1,20	53	15	24	29	4,8
BCC	1,15	54	19	25	30	5,5
BSC	1,21	53	17	23	30	4,6
SCC	1,12	57	20	28	29	5,4
SSC	1,17	54	15	24	30	4,6
Média	1,15	55	18	26	30	5,0
CV (%)	6	5	15	10	2	8
----- Camada de 2,5 a 5,0cm -----						
GCC	1,32	48	12	18	29	5,0
GSC	1,31	48	13	19	30	4,9
BCC	1,25	50	13	18	32	5,4
BSC	1,31	49	12	18	31	5,0
SCC	1,15	55	22	28	27	5,4
SSC	1,14	55	16	25	30	4,5
Média	1,25	51	14	21	30	5,0
CV (%)	7	6	27	20	6	7
----- Camada de 5,0 a 10,0cm -----						
GCC	1,38	47	8	12	35	4,9
GSC	1,32	49	8	10	39	5,5
BCC	1,31	49	9	12	37	5,5
BSC	1,34	49	12	16	32	5,0
SCC	1,20	54	16	20	34	5,3
SSC	1,28	49	10	14	36	4,5
Média	1,31	49	10	14	35	5,1
CV (%)	5	5	30	25	6	8
----- Camada de 10,0 a 20,0cm -----						
GCC	1,39	47	7	10	37	4,3
GSC	1,30	50	10	12	38	5,2
BCC	1,39	47	6	8	38	5,1
BSC	1,32	50	8	12	38	4,0
SCC	1,34	49	10	14	35	4,9
SSC	1,36	47	6	9	38	3,6
Média	1,35	48	8	11	37	4,5
CV (%)	3	3	21	20	4	14

Tabela 4: Valores de densidade (DS-AP), porosidade total (PT-AP), bioporos (BP-AP), macroporos (MA-AP), microporos (MI-AP) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP-AP), determinados imediatamente após aplicar as chuvas simuladas, em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições).

(conclusão)

	DS-AP	PT-AP	BP-AP	MA-AP	MI-AP	DMP-AP
Tratamento	g cm ⁻³	----- % -----				mm
	----- Média geral das camadas -----					
GCC	1,39	50	12	17	33	4,9
GSC	1,3	50	11	16	34	5,1
BCC	1,39	50	12	16	34	5,4
BSC	1,32	50	12	17	33	4,7
SCC	1,34	53	17	22	31	5,3
SSC	1,36	51	12	18	33	4,3
Média	1,35	51	13	18	33	5
CV (%)	3	3	17	13	3	8

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

6.3 VARIAÇÃO TEMPORAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

A variação temporal das propriedades físicas do solo tratada aqui consiste na discussão comparativa dos resultados obtidos imediatamente antes de instalar os tratamentos (tabela 3) com os resultados obtidos ao final da aplicação do último teste de chuva simulada, o teste 4 (tabela 4). Foram subtraídos os valores obtidos ao final da pesquisa daqueles obtidos antes de instalar os tratamentos. Assim, os valores resultantes dessa subtração mostraram-se negativos (-), ou positivos (+).

A variação da densidade do solo (DS-V) exibiu resultados entre -0,31 e 0,05 g cm⁻³ (tabela 5). O maior espaço das mudanças entre tratamentos ocorreu na camada 5-10 cm (0,24 g cm⁻³), enquanto a camada 10-20 cm aconteceu situação oposta (0,15 g cm⁻³). Na faixa de solo de 0-2,5 cm apenas SSC apresentou aumento da densidade para mudança de pouso para solo totalmente descoberto (0,05 g cm⁻³), enquanto SCC foi o que apresentou a maior diminuição (-0,15 g cm⁻³). Nesta camada de solo, GCC mostrou pouca alteração ao passo que os demais tratamentos obtiveram diminuição entorno de -0,08 g cm⁻³. Na camada de 2,5-5 cm todos os tratamentos proporcionaram diminuição da densidade, onde os que possuem geossintéticos foram que menos favoreceram essa ação em comparação aos demais. Já na camada de 5-10 cm é notado mesma situação descrita para faixa de solo acima, no entanto todos os tratamentos tiveram menor variação. Para profundidade de 10-20 cm os tratamentos com geomantas

aumentaram a densidade por volta de $0,02 \text{ g cm}^{-3}$ enquanto os demais diminuíram a densidade com resultados próximo de $-0,08 \text{ g cm}^{-3}$. Nesta faixa de solo, BCC foi o único tratamento que não teve alteração. O tratamento que apresentou o maior intervalo das variações foi o SSC ($0,33 \text{ g cm}^{-3}$) enquanto BSC teve uma conjuntura divergente ($0,08 \text{ g cm}^{-3}$).

A variação da porosidade total do solo (PT-V) oscilou de -1 e 13% (tabela 5), onde o intervalo dos resultados para cada faixa de solo ficou em redor de 7%. Na camada de 0-2,5 cm ocorreu aumento da porosidade depois da instalação da pesquisa em todos os tratamentos sendo esse efeito acentuado em SCC enquanto SSC foi tênue. Para porção de solo na profundidade de 2,5-5 cm, os tratamentos SCC e SSC foram os que tiveram maior aumento na porosidade total, enquanto os tratamentos com geossintéticos tiveram menor acréscimo de PT-V. Na faixa de solo de 5-10 cm é constatado que os tratamentos que possuem cobertura vegetal ocasionaram maior PT-V em comparação ao respectivo tratamento descoberto. Na camada de 10-20 cm ocorre diminuição da porosidade em GCC, GSC e BCC. O tratamento que em suas diversas camadas teve maior amplitude foi SSC (10%) enquanto GCC e BSC tiveram situação oposta (5%), já os demais tratamentos tiveram oscilação por volta de 7%.

A variação do volume de macroporos (MAP-V) alternou entre -2 e 18% (tabela 5). As camadas de 2,5-5 e 5-10 cm apresentaram intervalos dos resultados dos diferentes tratamentos por volta de 14% enquanto a faixa de solo de 10-20 cm teve o menor intervalo (9%). Para a camada mais superficial, SSC e GCC não apresentaram alteração na quantidade de macroporos, enquanto os demais tratamentos apresentaram uma elevação por volta de 10%. Para porção de solo entre 2,5-5 cm os tratamentos sem geossintéticos proporcionaram maior acréscimo de MAP-V quando comparados ao restante. O solo compreendido entre 5-10 cm, o tratamento GSC obteve diminuição dos macroporos (-2%), já SCC apresentou aumento dos macroporos (13%) e enquanto os demais tratamentos a elevação do volume foi menor ficando entorno de 5%. Para camada de solo de 10-20 os tratamentos com geomanta obtiveram diminuição do volume de macroporos e SSC não mostrou alteração. Para esta mesma faixa de solo BCC mostrou pouco aumento de MAP-V quando comparado com BSC e SCC. O tratamento que apresentou o maior intervalo dos seus resultados nas camadas estudadas foi GSC e SSC (13%) ao passo que BSC apresentou situação oposta (3%).

A variação da bioporosidade do solo (BP-V) oscilou entre zero e 16% (tabela 5). As camadas 2,5-5 e 5-10 cm apresentaram maior intervalo dos resultados para os distintos tratamentos (12%) ao passo que na profundida entre 10-20 cm foi que ocorreu menor oscilação (5%). Na camada de solo de 0-2,5 cm, SSC apresentou menor acréscimo no volume de bioporos (3%), ao passo que os demais tratamentos ficaram ao redor de 9%. Na profundidade de 2,5-5

em os tratamentos sem geossintéticos foram os que apresentaram maiores acréscimo de bioporos em comparação aos demais tratamentos. Na camada de 5-10 cm os tratamentos cobertos sem geossintéticos e com geomanta obtiveram maiores acréscimo de bioporos enquanto comparado com seu respectivo tratamento descoberto. Para profundidade de 10-20 cm os tratamentos BSC e SCC apresentaram acréscimo no volume de bioporos por volta 6% ao passo que os demais tiveram acréscimo próximo de 2%. Os tratamentos que mostraram maior oscilação dos seus resultados nas diferentes camadas foi BCC e SCC com intervalo próximo de 10% enquanto GCC foi que apresentou menor espaço (4%).

A variação da microporosidade do solo (MIP-V) alternou entre -5 e 3% (tabela 5), ao passo que o intervalo dos resultados dos tratamentos em cada camada girou em 6%. Para espessura de solo mais superficial os tratamentos GCC e SSC obtiveram aumento da microporosidade, SCC não mostrou alteração, BSC teve pequena diminuição (-1%) enquanto demais mostraram valor mais expressivo perto de -5%. Na camada de 2,5-5 cm apenas GCC teve aumento no volume de microporos, enquanto os tratamentos com biomantas tiveram diminuição no volume menos significantes quando comparado aos outros. Para espessura de solo na profundidade de 5-10 cm os tratamentos com geomanta e BCC mostram aumento na microporosidade após chuvas simuladas. Por fim, na camada de 10-20 nota-se que apenas GCC e SSC tiveram aumento desse atributo, GSC não mostrou alteração e os demais tratamentos diminuiram o volume de microporos entorno de -2%. O tratamento GSC foi que mostrou maior intervalo (8%) enquanto GCC apresentou comportamento contrário (2%).

A variação do diâmetro médio (DMP-V) mostrou maior susceptibilidade para desagregação do solo, após aplicação de quatro chuvas simuladas, cujos resultados estão entre -0,2 e -1,5 mm (tabela 5). A camada 10-20 cm foi que apresentou maior intervalo (1,3 mm) enquanto as demais camadas de solo exibiram amplitude entorno de 0,7 mm. Na camada superficial os geossintéticos descobertos foram os que apresentaram a maior diminuição enquanto os demais tratamentos tiveram resultado por volta de -0,5 mm. Para faixa de solo entre 2,5-5 cm, os tratamentos com geomanta e BSC se tornaram mais vulneráveis a desagregação de solo após aplicação das chuvas simuladas. Para camada entre 5-10 cm os tratamentos GSC e BCC foram os que exibiram melhor desempenho. Para última camada os tratamentos com cobertura vegetal apresentaram menor diminuição do DMP em comparação seus respectivos tratamentos descobertos. O tratamento SSC foi o que apresentou maior intervalo dos resultados obtidos para as camadas de solo estudadas (1 mm) ao passo que BCC, BSC e SCC mostrou menor distância (0,3 mm).

Tabela 5: Variação entre os resultados obtidos depois da instalação dos tratamentos após aplicação de quatro chuvas simuladas em comparação ao estado anterior de pousio para densidade (DS-V), porosidade distribuída em poros totais (PT-V), bioporos (BP-V), macroporos (MAP-V), e microporos (MIP-V), e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP-V) em cada camada de solo, para um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições).

Tratamento	DS-V g cm ⁻³	PT-V ----- % -----	BP-V	MAP-V	MIP-V	DMP-V mm
----- Camada de 0 a 2,5cm -----						
GCC	-0,01	2	5	0	2	-0,5
GSC	-0,07	5	9	11	-5	-1,0
BCC	-0,08	6	12	11	-5	-0,4
BSC	-0,09	8	10	8	-1	-1,1
SCC	-0,15	9	9	9	0	-0,5
SSC	0,05	2	3	0	2	-0,5
----- Camada de 2,5 a 5,0cm -----						
GCC	-0,12	4	5	4	0	-1,1
GSC	-0,16	6	5	9	-3	-1,2
BCC	-0,19	7	6	8	-1	-0,5
BSC	-0,16	7	4	7	0	-1,0
SCC	-0,31	13	16	18	-5	-0,6
SSC	-0,28	11	10	13	-2	-0,5
----- Camada de 5,0 a 10,0cm -----						
GCC	-0,10	3	4	2	1	-0,8
GSC	-0,05	1	0	-2	3	-0,5
BCC	-0,16	6	5	5	1	-0,3
BSC	-0,14	5	10	7	-3	-0,7
SCC	-0,29	10	12	13	-3	-0,8
SSC	-0,18	5	5	6	-1	-1,1
----- Camada de 10,0 a 20,0cm -----						
GCC	0,04	-1	1	-2	2	-0,4
GSC	0,01	-1	2	-1	0	-0,8
BCC	0,00	-1	2	1	-1	-0,2
BSC	-0,08	3	5	5	-2	-1,1
SCC	-0,11	4	6	7	-3	-0,8
SSC	-0,06	1	2	0	1	-1,5
----- Média geral das camadas -----						
GCC	0,06	2	4	1	1	-0,6
GSC	-0,05	3	4	4	-2	-0,9
BCC	0,01	4	6	6	-2	-0,3
BSC	-0,09	6	7	7	-2	-0,9
SCC	-0,08	9	11	12	-3	-0,6
SSC	0,00	5	5	5	0	-0,9

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

6.4 DADOS OBTIDOS NO DIA DA CHUVA SIMULADA

6.4.1 Umidade gravimétrica do solo

A umidade gravimétrica (UG) variou entre 20 e 31% (tabela 6). Na chuva 1 os maiores valores ocorreram nos tratamentos sem cobertura vegetal, em torno de 29%, quando comparado aos tratamentos cobertos, próximo de 22%. Na chuva 2 os dados assemelharam-se aos da chuva 1, com nítidas diferenças numéricas entre os tratamentos descobertos, 26% em média, em relação aos com cobertura vegetal (21%). Nas chuvas 2 e 3 os resultados variaram cerca de 6%, entre os tratamentos. Na chuva 3 apenas os tratamentos com biomanta apresentaram tendência inversa ao que foi recém-descrito, com diferença menor que 1% para este tratamento. Na chuva 4 houve o menor intervalo de valores, entre 27 e 29%, respectivamente para os tratamentos BSC e GCC. Nessa chuva os dados comportaram-se de modo distinto em relação às chuvas anteriores, pois no dia anterior ocorreu chuva natural que homogeneizou a UG do solo. Nos tratamentos BSC e SSC houve menor variação da UG do solo entre chuvas, entorno de 3%, enquanto nos demais tratamentos essa característica oscilou por volta de 7%. Em todas as chuvas, os tratamentos com cobertura vegetal apresentaram menor UG, 23%, do que nos descobertos, 27%.

6.4.2 Tempo necessário para início da enxurrada

O tempo necessário para início da enxurrada (IE) variou entre 4 e 27 minutos (tabela 6). Na chuva 1 o tratamento SSC foi o que teve menor IE (9 minutos) enquanto os demais tratamentos apresentaram valores entorno de 15,5 minutos. Na chuva 2, quando comparada com a chuva anterior, o tratamento SSC reduziu o IE (4 minutos), ao passo que os demais tratamentos aumentaram esse tempo. Nesta chuva o tratamento GCC apresentou maior IE (21,5 minutos), seguido dos tratamentos com biomanta e SCC (19 minutos), restando GSC (16,5 minutos). Na chuva 3, os tratamentos SSC e GCC foram os que apresentaram valores extremos, respectivamente 9 e 26,5 minutos. Os demais tratamentos mostraram valores entorno de 23 minutos para esta chuva. Na chuva 4, ensaio no qual houve chuva natural no dia anterior, os tratamentos SSC e BSC apresentaram valores menores, respectivamente 4 e 6,5 minutos, enquanto GCC mostrou comportamento oposto (21,5 minutos). A variação dos resultados entre chuvas foi menor nos tratamentos SSC e GSC, respectivamente 5 e 7,5 minutos. Situação oposta ocorreu nos tratamentos BSC e SCC, por volta de 15 minutos, enquanto GCC e BCC mostraram

situação intermediária (10 minutos). Conforme tabela 6, a ocorrência de chuva natural no dia anterior da aplicação da chuva 4 reduziu o IE para os tratamentos BCC, BSC e SCC. Com a exclusão dos dados desta chuva, houve menor variação nos dados nestes tratamentos, respectivamente 7,5, 5 e 10 minutos.

6.4.3 Velocidade da enxurrada

A velocidade da enxurrada (VE) aos 40 minutos do início da chuva foi da ordem de 10 e 27,5 minutos (tabela 6). Na chuva 1, a maior VE (13 cm s^{-1}) ocorreu no tratamento SSC, enquanto nos tratamentos com geossintéticos descobertos os valores foram 10 cm s^{-1} . Na chuva 2 o tratamento SSC continuou apresentando maior valor (21 cm s^{-1}) enquanto os tratamentos GSC e BSC diferiram, respectivamente com 12 e 15 cm s^{-1} . Na chuva 3 os geossintéticos repetiram o desempenho (16 cm s^{-1}) enquanto o tratamento SSC continuou mostrando pior desempenho ($24,5 \text{ cm s}^{-1}$). Na chuva 4 o tratamento SSC teve a pior performance em todas as chuvas ($27,5 \text{ cm s}^{-1}$), enquanto os demais tratamentos mostraram valores inferiores e levemente distintos um do outro, por volta de 13 cm s^{-1} . A variação dos resultados entre chuvas foi maior para SSC (14 cm s^{-1}) enquanto os geossintéticos descobertos mostraram situação contrária (6 cm s^{-1}).

6.4.4 Perda de água por escoamento superficial

A perda de água por escoamento superficial (PA) oscilou de 28 e 81% (tabela 6). Na chuva 1 o tratamento SSC exibiu maior PA (66%) e o tratamento BCC a menor perda (28%). Os demais tratamentos permaneceram entorno de 52% para esta chuva. A chuva 2 em comparação com chuva anterior, apontou aumento de PA no tratamento SSC (10%). Nesta segunda simulação, o tratamento BCC apresentou a menor PA (28%), quanto o tratamento SSC a maior perda (76%). Nessa chuva ocorreu a maior variação nesses resultados (48%). Na chuva 3 foi ocorreu a menor variação nesses resultados (33%), com tratamento BCC (27%), e tratamento SSC (60%). Na chuva 4, os tratamentos BCC e SSC mostraram comportamento antagônico, respectivamente 40 e 81% de variação. Em todas as chuvas, os tratamentos geossintéticos com cobertura vegetal apresentaram a menor PA, inferior a 46%. Os dados indicam que numa condição de solo descoberto, a utilização de geossintéticos tende a ter PA semelhantes ao tratamento com apenas cobertura vegetal. A condição de solo totalmente descoberto foi que apresentou a maior PA em todas as chuvas. No tratamento GSC ocorreu a

menor variação nesses resultados (7%), com o SSC mostrando comportamento distinto (21%) e os demais com resultados de PA próximos de 13%.

Fernandes (2009) também realizou estudo com produtos geossintéticos, obtendo resultados distintos aos desta pesquisa. O autor trabalhou em condição de chuva natural, parcelas com comprimento de 10 m, declividade média de 112% e cobertura vegetal de *Brachiaria decumbens*, *Melinis minutiflora*, *Stylosanthes guianensis* e *Cajanus cajan*. O autor verificou que a condição de solo totalmente descoberto tendeu a ocasionar as menores PA comparadas à cobertura com geomanta e biomanta sem vegetação.

6.4.5 Perda de solo observada

Na declividade real do terreno no campo, com variação entre 10 a 15%, e na intensidade de chuva aplicada, com variação entre 99 e 121 mm h⁻¹, a perda de solo observada (PSO) variou entre 0 (zero) e 25 t ha⁻¹ (tabela 6). Em todas as chuvas simuladas foi constatado que os tratamentos com cobertura vegetal apresentaram os menores valores, entre 0 (zero) e 0,2 t ha⁻¹. Em todos os testes também foi observado que os tratamentos geossintéticos em solo descoberto tiveram desempenho intermediário, entre 0,4 e 9,8 t ha⁻¹, enquanto o SSC foi o que apresentou a pior condição, com PSO entre 10,1 e 25,4 t ha⁻¹. Na primeira chuva simulada ocorreu a menor variação nos valores entre os tratamentos (9,9 t ha⁻¹), enquanto no quarto teste ocorreu a maior variação (25,3 t ha⁻¹).

6.4.6 Perda de solo ajustada

A perda de solo ajustada (PSA) para declividade em 30% e para a intensidade de chuva de 100 mm h⁻¹ oscilou de 0,1 e 111,2 t ha⁻¹ (tabela 6), representando uma diferença de 1.112%. De forma análoga às PSO, em todos os testes de chuva foi visto que o tratamento SSC apresentou a maior PSA, com valores variando entre 58,6 e 111,2 t ha⁻¹. Os melhores resultados, em todo período avaliado, ocorreram nos tratamentos com cobertura vegetal no solo, entre 0,1 e 0,7 t ha⁻¹, enquanto nos tratamentos geossintéticos em solo descoberto ocorreram resultados intermediários, com PSA entre 1,4 e 32,2 t ha⁻¹. No quarto teste de chuva ocorreu a maior variação de resultados, 111,0 t ha⁻¹, enquanto no primeiro teste a variação foi de 58,1 t ha⁻¹.

6.4.7 Índice D₅₀ dos sedimentos

O índice D₅₀ dos sedimentos transportados pela enxurrada variou entre 0,024 e 1,174 mm (tabela 6). Na chuva 1 foi o menor intervalo de valores entre os tratamentos (0,306 mm), enquanto na chuva 3 essa variação foi de 1,148 mm. Na primeira chuva simulada, os tratamentos geossintéticos em solo coberto mostraram maior D₅₀ quando comparados aos sem cobertura vegetal. Nas outras chuvas ocorreu mudança no comportamento dos dados. No tratamento GSC ocorreu o maior valor de D₅₀ em comparação ao tratamento GCC. Para as três primeiras chuvas, os tratamentos com geomanta e SSC resultaram em aumento do D₅₀ ao longo dos testes enquanto no SCC houve diminuição. Nesse mesmo período, os tratamentos com biomanta tenderam a apresentar pequena variação no D₅₀. No teste 4, a ocorrência de chuva natural no dia anterior pode ter interferido nos resultados. A variação entre chuvas foi maior no tratamento GSC (1,087 mm). Circunstância distinta aconteceu no tratamento BSC e SCC, com valor por volta de 0,064mm. Os tratamentos GCC, BCC e SSC mostraram oscilação de valores, de aproximadamente 0,328 mm.

6.4.8 Diâmetro dos sedimentos transportados

Os sedimentos menores que 0,25 mm e maiores que 0,038 mm apresentam baixa coesão e seu peso dificulta o transporte pela água de escoamento superficial (PLOEY, 1985). O diâmetro dos sedimentos transportados (DST) nesta fração de partícula variou de 3 e 45% (tabela 7). Em situação de solo descoberto, em todos os testes o tratamento SSC mostrou menor valor quando comparado ao BSC, enquanto, isso só ocorreu na primeira chuva no tratamento GSC. Na condição de cobertura vegetal, os geossintéticos tenderam a aumentar a quantidade de sedimentos nessa faixa de diâmetro, em comparação ao tratamento sem esse material. Para cada teste de chuva, na geomanta a cobertura vegetal tendeu a aumentar os valores de DST, em relação ao mesmo material em solo descoberto, enquanto na biomanta essa situação foi inversa. Os resultados nos tratamentos SCC e SSC mostraram tendência de ocorrer menores valores na situação de cobertura vegetal, especialmente os últimos três testes de chuva. No tratamento GCC houve maior variação de valores entre testes, 38%, enquanto no GSC, BSC e SCC a variação foi da ordem de 20%. Nos tratamentos BCC e SSC ocorreram as menores variações, respectivamente 12 e 5%.

Os sedimentos com diâmetro acima de 0,25 mm são mais resistentes ao transporte pela água de enxurrada do que os sedimentos menores (PLOEY, 1985). Os valores obtidos nesta

pesquisa, para essas partículas, oscilaram de 9 e 83% (tabela 7). Dentre os tratamentos com cobertura vegetal, no SCC ocorreram valores inferiores quando confrontados com BCC, enquanto no GCC os resultados foram semelhantes em algumas chuvas, e alternado em outras. Entre os tratamentos com solo descoberto, o SSC mostrou resultados superiores ao BSC em todos os testes, enquanto para o GSC essa situação só ocorreu nas duas primeiras chuvas. Para os tratamentos com biomanta a utilização de cobertura vegetal ocasionou resultados superiores quando comparados com mesmo material descoberto, enquanto para os tratamentos com geomanta e tratamento sem geossintéticos essa condição é contrária. Os tratamentos GSC apresentaram maior variação entre chuvas (49%) enquanto no GCC, BSC e SCC, essa variação foi próxima a 35% e os demais tratamentos foi 21%.

Os sedimentos menores que 0,038 mm correspondem às frações silte e argila, e podem ser facilmente transportadas pela água de escoamento superficial, especialmente as argilas (PLOEY, 1985). Isso é devido à capacidade de coesão na constituição de agregados estáveis especialmente combinados com matéria orgânica. Os valores de DST obtidos nas quatro chuvas simuladas foram de 6 e 81% (tabela 7). Em cada uma das três últimas chuvas simuladas foi constatado que os geossintéticos com cobertura vegetal proporcionaram menor perda de solo comparados ao SCC. Em solo descoberto, apenas nas duas últimas chuvas o tratamento BSC mostrou valores inferiores que SSC. A geomanta com cobertura vegetal mostrou menor perda de solo nesta fração nas duas primeiras chuvas, comparada ao tratamento correspondente em solo descoberto. A biomanta com cobertura vegetal mostrou melhor desempenho em todas as chuvas comparada com mesmo material em solo descoberto. Nos tratamentos sem geossintéticos, a condição de solo descoberto mostrou menores perdas de solo na fração de solo abaixo de 0,038 mm. O tratamento GSC mostrou maior variação entre os testes de chuva, 65%, enquanto os outros exibiram valores de 50% para SCC, 31% para GSC e 17% para os demais.

Tabela 6: Resultados da declividade real (D), umidade gravimétrica (UG), intensidade de chuva aplicada (I), início da enxurrada (IE), velocidade da enxurrada (VE), perda de água (PA), perda de solo observado (PSO), perda de solo ajustado para declividade de 30% e intensidade de chuva de 100 mm h⁻¹ (PSA) e D₅₀ por chuva aplicada para um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições).

Tratamento	D %	UG %	I mm h ⁻¹	IE min	VE cm s ⁻¹	PA %	PSO t ha ⁻¹	PSA t ha ⁻¹	D ₅₀ mm
----- chuva 1 -----									
GCC	14	20	120	16,5		43	0,2	0,5	0,125
GSC	14	31	106	14,0	10,0	54	0,4	1,6	0,087
BCC	12	24	108	16,5		28	0,2	0,7	0,323
BSC	13	27	121	16,5	10,0	59	0,5	1,4	0,035
SCC	13	23	119	14,0		53	0,2	0,6	0,160
SSC	10	28	99	9,0	13,3	66	10,1	58,6	0,341
Média	13	25	112	14,4	11,1	50	1,9	10,6	0,179
CV (%)	11	15	8	20	17	26	207	223	71
----- chuva 2 -----									
GCC	14	22	124	21,5		34	0,1	0,2	0,167
GSC	14	27	126	16,5	11,7	54	1,1	2,3	0,729
BCC	12	21	132	19,0		28	0,1	0,3	0,328
BSC	13	26	124	19,0	15,2	48	2,1	5,2	0,043
SCC	13	21	128	19,0		48	0,1	0,2	0,082
SSC	10	26	125	4,0	21,1	76	23,0	87,9	0,545
Média	13	24	127	16,5	16,0	48	4,4	16,0	0,316
CV (%)	11	13	2	38	30	35	207	220	87
----- chuva 3 -----									
GCC	14	20	110	26,5		32	0	0,1	0,239
GSC	14	24	110	21,5	16,0	51	3,1	8,7	1,174
BCC	12	24	113	24,0		27	0,1	0,2	0,131
BSC	13	23	110	21,5	16,2	48	2,3	7,1	0,038
SCC	13	21	109	24,0		53	0	0,1	0,026
SSC	10	27	113	9,0	24,5	60	15,6	69,3	0,673
Média	13	23	111	21,1	18,9	45	3,5	14,3	0,380
CV (%)	11	10	2	29	26	29	173	191	120
----- chuva 4 -----									
GCC	14	29	111	21,5		46	0,1	0,2	0,024
GSC	14	28	108	15,0	14,1	58	9,8	32,2	0,868
BCC	12	28	109	14,0		40	0,1	0,3	0,356
BSC	13	27	111	6,5	12,0	54	3,2	9,7	0,102
SCC	13	28	113	10,0		61	0,1	0,3	0,024
SSC	10	27	114	4,0	27,5	81	25,4	111,2	0,683
Média	13	28	111	11,8	17,9	57	6,5	25,7	0,343
CV (%)	11	2	2	54	47	25	155	170	105

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Tabela 7: Resultados do diâmetro dos sedimentos transportados (DST) por chuva aplicada para um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições).

(continuação)

Tratamento	DST							
	>2,00	2,00-1,00	1,00-0,50	0,50-0,25	0,25-0,125	0,125-0,053	0,053-0,038	<0,038
----- % -----								
----- chuva 1 -----								
GCC	5	9	9	13	14	12	8	30
GSC	11	3	14	7	10	10	8	37
BCC	12	9	18	17	9	10	5	21
BSC	2	3	5	9	6	12	10	55
SCC	7	7	14	17	6	13	5	31
SSC	20	12	15	4	3	8	9	29
Média	10	7	12	11	8	11	7	34
CV (%)	66	54	39	47	51	17	28	34
----- chuva 2 -----								
GCC	4	9	14	14	14	22	9	14
GSC	24	18	15	3	3	5	4	28
BCC	7	15	16	17	8	9	7	21
BSC	2	2	5	5	10	11	22	42
SCC	9	6	17	9	8	4	4	45
SSC	8	17	28	17	4	8	5	15
Média	9	11	16	11	8	10	8	28
CV (%)	87	56	47	56	52	68	85	49
----- chuva 3 -----								
GCC	7	9	15	19	10	11	2	28
GSC	31	23	19	8	4	5	3	8
BCC	15	9	10	8	9	14	1	35
BSC	3	1	3	2	5	20	16	49
SCC	0	3	16	5	0	3	0	74
SSC	18	18	21	6	3	8	8	18
Média	12	10	14	8	5	10	5	35
CV (%)	92	81	47	75	75	62	122	67

Tabela 7: Resultados do diâmetro dos sedimentos transportados (DST) por chuva aplicada para um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).

(conclusão)

Tratamento	DST							
	>2,00	2,00-1,00	1,00-0,50	0,50-0,25	0,25-0,125	0,125-0,053	0,053-0,038	<0,038
	----- % -----							
	----- chuva 4 -----							
GCC	0	5	5	4	0	8	0	79
GSC	18	25	27	13	3	5	3	6
BCC	0	13	24	23	3	10	0	28
BSC	10	15	11	6	5	9	8	35
SCC	0	3	8	0	0	6	3	81
SSC	5	19	41	10	5	7	3	11
Média	6	13	19	9	3	7	3	40
CV (%)	132	65	72	88	83	22	108	82

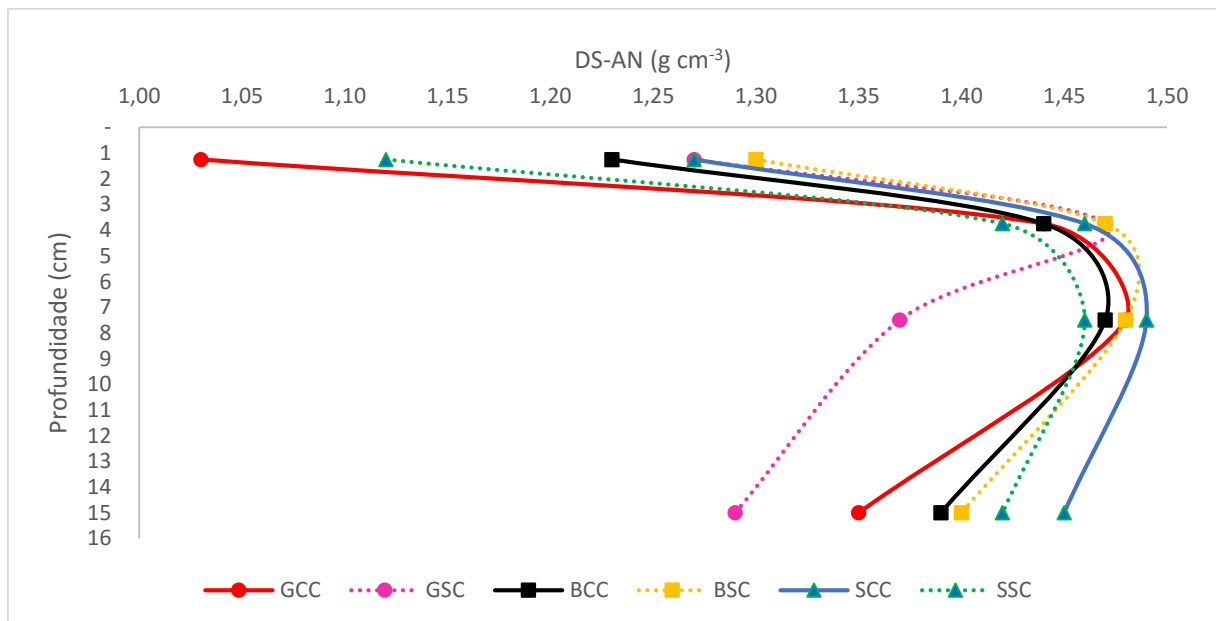
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO DETERMINADAS IMEDIATAMENTE ANTES DE INSTALAR OS TRATAMENTOS

A densidade determinada no solo em estado de pousio, antes de instalar os tratamentos (DS-AN), apresentou alteração na camada mais superficial em comparação com as demais (Figura 13). Isso é justificado pela diferença na PT-AN entre as camadas. A maior parte dos tratamentos comportou-se dessa forma, com distinção de GSC nas duas últimas camadas. Os diferentes sistemas de manejo do solo conduzidos no experimento antes desta pesquisa favoreceram a emergência de diferentes espécies vegetais espontâneas que podem ter influenciado a distinção do tratamento GSC em relação aos demais, quanto DS-AN. Voll et al. (2001) constataram que as gramíneas tenderam a sobreviver por menor tempo em semeadura direta do que em arado de discos + grade niveladora, grade aradora + grade niveladora e escarificação + grade niveladora. As espécies de folha larga persistiram por maior tempo, com maior sobrevivência.

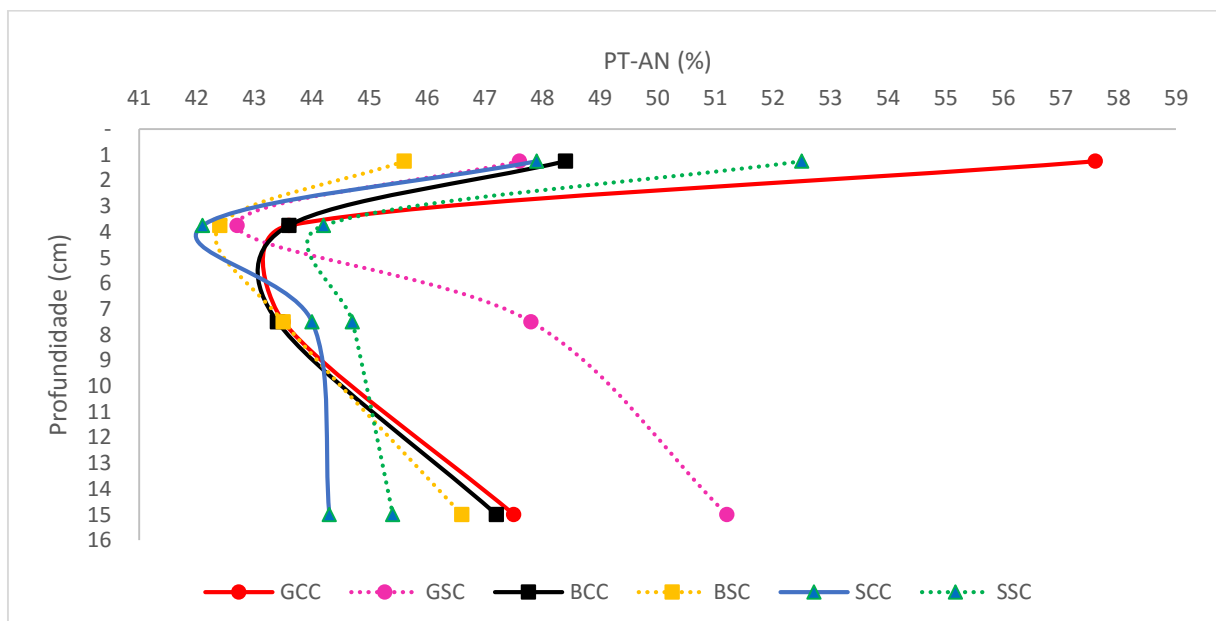
Figura 13: Densidade determinada no solo em estado de pousio, antes de instalar os tratamentos (DS-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A porosidade total determinada no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (PT-AN) diminuiu na camada superficial em relação a camada abaixo nos tratamentos geossintéticos cobertos, sem distinção entre eles. Nestes tratamentos não houve alteração na PT-AN entre as camadas 2,5-5 e 5-10 cm, enquanto na camada inferior houve aumento. Os demais tratamentos geossintéticos descobertos assemelharam-se entre si, com a camada mais profunda apresentando maior PT-AN. Houve decréscimo nas duas camadas superficiais e aumento na medida que aprofundou o perfil do solo. Os tratamentos sem geossintéticos foram semelhantes entre si, com PT-AN maior na camada mais superficial e sem diferença entre as camadas inferiores. A diferença entre tratamentos em estado de pousio pode estar relacionada com surgimento de distintas espécies de plantas daninhas, conforme constatado por Miranda e Schiavo (2008).

Figura 14: Porosidade total determinada no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (PT-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).

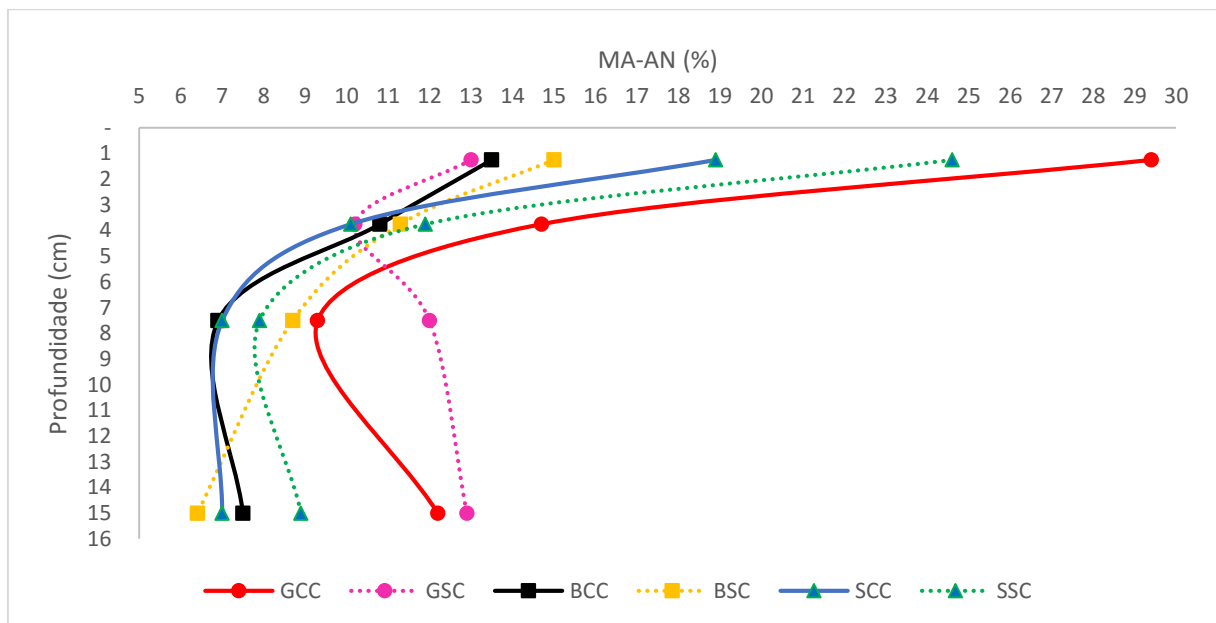


GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A macroporosidade determinada no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (MA-AN) apresentou maior volume nas camadas superficiais do que nas camadas inferiores (figura 15). Segundo Albuquerque et al (1995) essa diminuição da MA-AN em profundidade no perfil do solo é explicada pela possível redução de atividade biológica da fauna e flora, nas camadas inferiores devido à escassez de O₂. No tratamento GSC houve certa

uniformidade de valores ao longo das camadas do solo. Isso também foi constatado por Mendes (2006). Nos demais tratamentos o comportamento gráfico desta característica do solo resultou em diminuição de MA-AN da camada 0-2,5 para 5-10 cm. Na faixa de solo mais profunda ocorreu diminuição de MA-AN no BSC, enquanto no GCC houve aumento e nos demais tratamentos ocorreu estabilidade de valores.

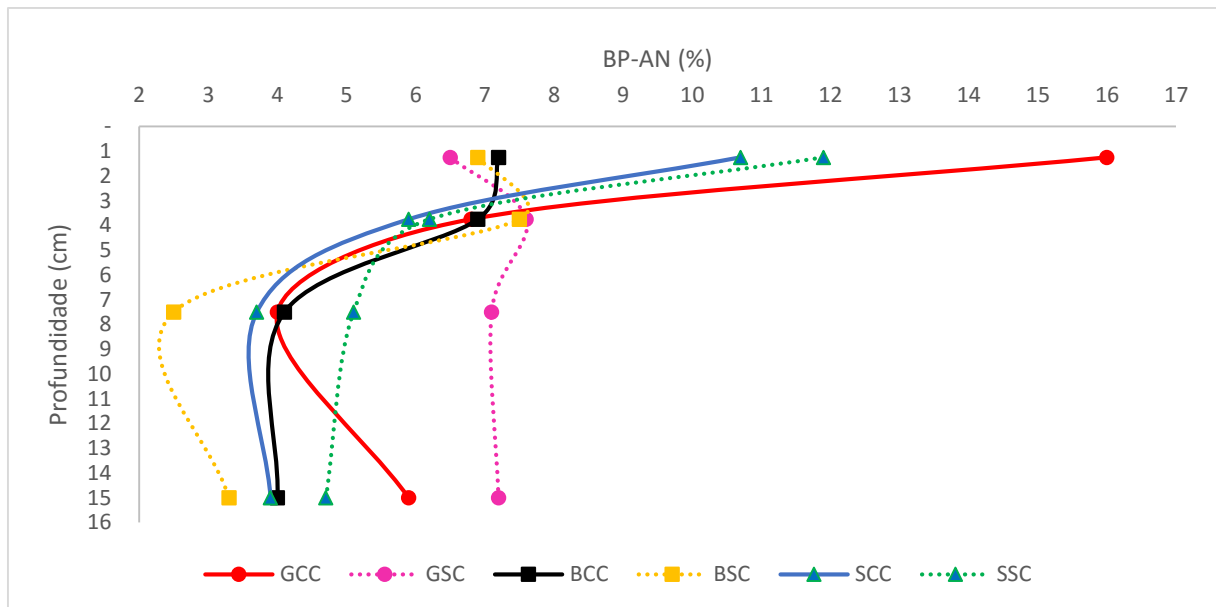
Figura 15: Macroporosidade determinada no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (MA-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A bioporosidade determinada no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (BP-AN) no tratamento GSC (Figura 16) mostrou uniformidade de valores ao longo das camadas do solo. O aumento da densidade com diminuição da macroporosidade e bioporosidade é normal devido à compactação ou adensamento em profundidade no solo (VERAS et al., 2020). A uniformidade de valores observada no tratamento GSC pode ser devida à baixa variação de DS-AN entre a camada superficial e a mais profunda. Os demais tratamentos tenderam a aumentar o volume de BP-AN nas camadas superiores em comparação às inferiores. A bioporosidade é resultado da atividade de raízes e da mesofauna (KARLEN et al., 1994). A maior quantidade de bioporos na camada superficial do solo neste trabalho ocorreu provavelmente pelo maior número de raízes e matéria orgânica em decomposição nesta região.

Figura 16: Bioporosidade determinada no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (BP-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).

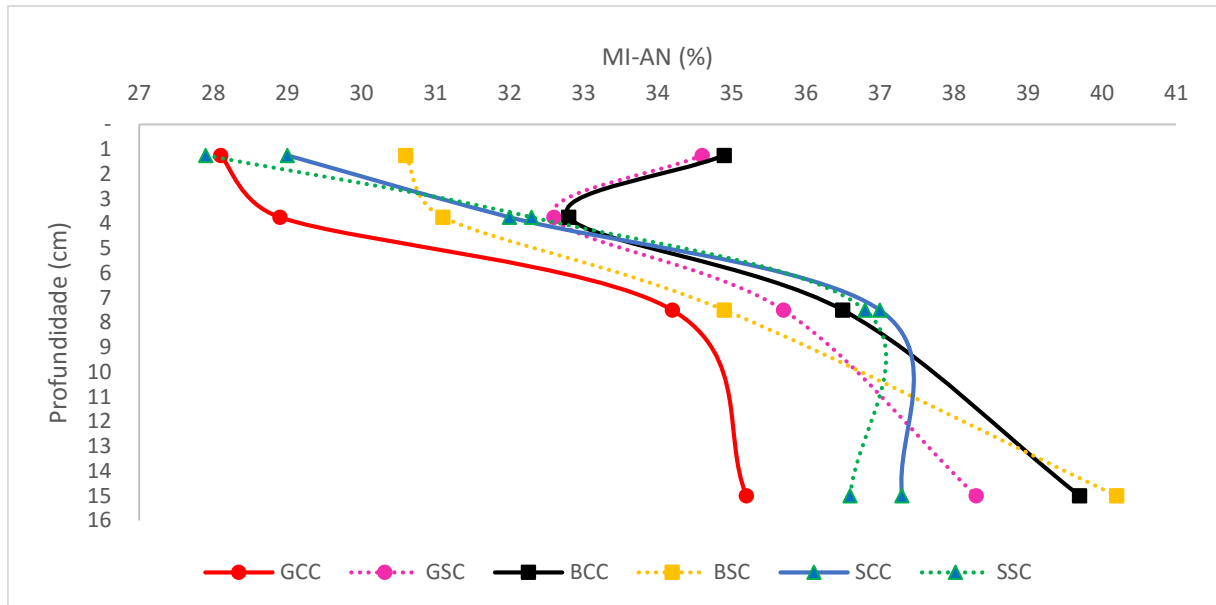


GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os valores de microporosidade determinada no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (MI-AN) tenderam a diminuir nas camadas superiores em comparação com as inferiores, em todos os tratamentos com exceção do GSC e BCC (Figura 17). Os tratamentos sem geossintéticos apresentaram uniformidade dos resultados para as duas camadas inferiores. O gráfico de MI-AN tendeu a refletir o mesmo comportamento ocorrido em MA-AN, porém com tendência inversa e em menor magnitude. Segundo Silva e Kay (1997), a microporosidade é fortemente afetada pela textura e teor de carbono orgânico e pouco influenciada pela densidade do solo. Neste trabalho, a maior quantidade de carbono orgânico na camada superficial proporcionou maior volume de macroporos e menor de microporos.

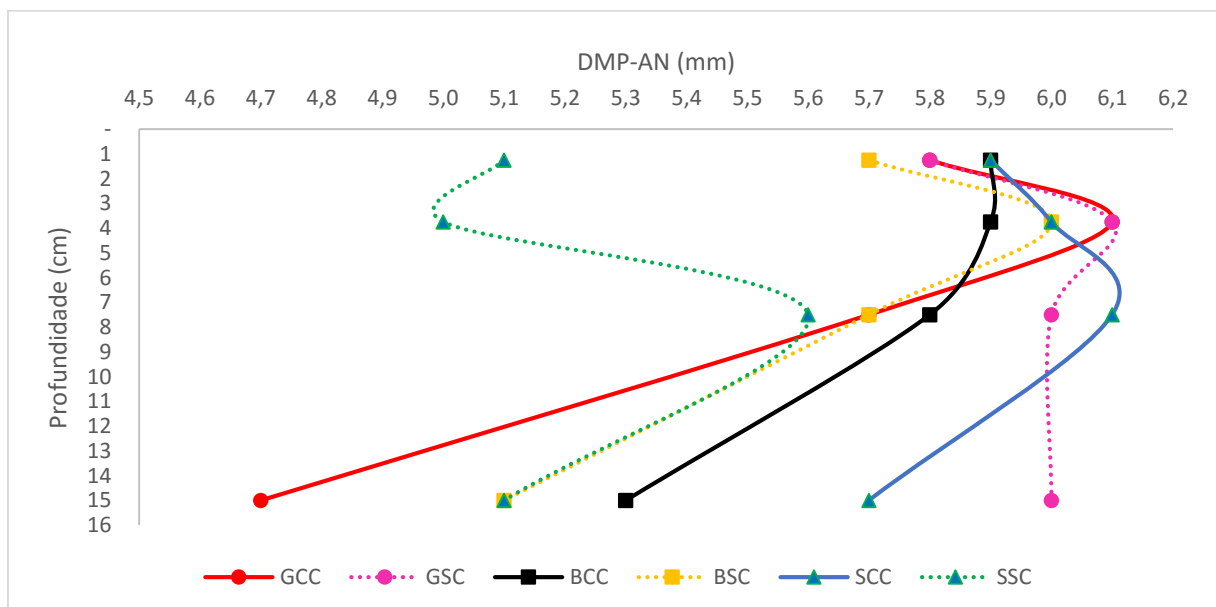
O diâmetro médio ponderado dos agregados determinado no solo em estado de pousio antes de instalar os tratamentos (DMP-AN) pouco variou nos tratamentos GSC e SCC e SSC ao longo das camadas (figura 18). Nos demais tratamentos houve tendência de diminuição ao longo do perfil de solo estudado. Segundo Conte et al. (2011) a tendência de aumento no DMP na camada superficial deve-se ao aumento do teor de carbono nessa camada com a maior presença de raízes. Com isso formam-se macroagregados estáveis devido à dinâmica da matéria orgânica do solo.

Figura 17: Microporosidade determinada no solo em estado de pouso antes de instalar os tratamentos (MI-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Figura 18: Diâmetro médio ponderado dos agregados determinado no solo em estado de pouso antes de instalar os tratamentos (DMP-AN), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).

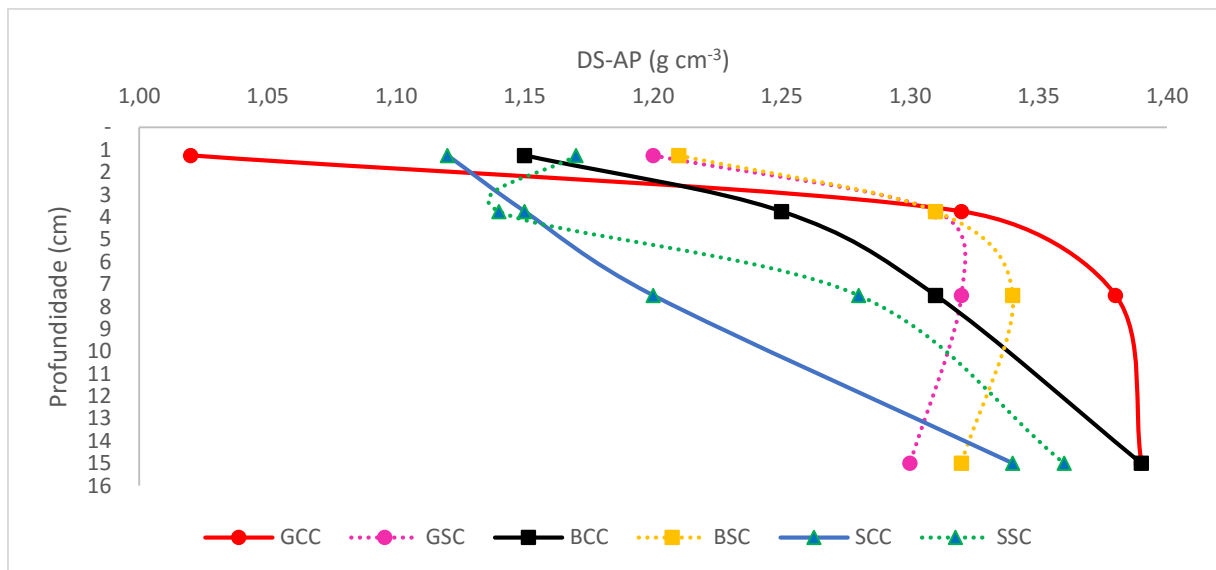


GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

7.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO DETERMINADAS IMEDIATAMENTE APÓS APLICAR AS CHUVAS SIMULADAS

A densidade determinada no solo após as chuvas simuladas (DS-AP) foi menor em todos os tratamentos na camada superficial, com exceção do SSC (Figura 19). Na superfície do solo a densidade é uma importante propriedade que afeta a desagregabilidade pelo impacto das gotas de chuva no caso do solo estar descoberto. O aumento da densidade infere o aumento de desprendimento das partículas e de suscetibilidade do solo à erosão por “splash” (BRODOWSKI, 2013). Assim, os tratamentos BCC, SCC e SSC tenderam a aumentar gradualmente DS-AP ao longo da profundidade do solo. Os demais tratamentos tenderam a pouco variar os valores de DS-AP na faixa de 2,5-5 e 10-20 cm do solo. As diferenças entre tratamentos para DS-AP são explicadas pela PT-AP, o que será discutido adiante.

Figura 19: Densidade determinada no solo após as chuvas simuladas (DS-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).

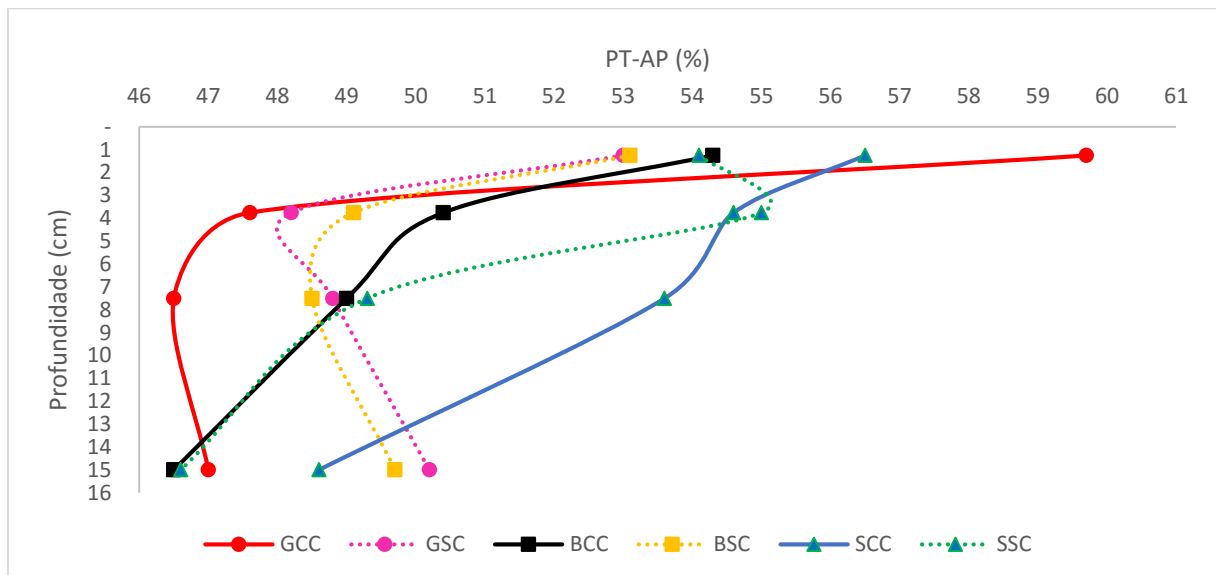


GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A porosidade total determinada no solo após as chuvas simuladas (PT-AP) foi maior nos tratamentos GCC, GSC e BSC na camada mais superficial, diminuindo nas demais camadas de solo com pequena variação (Figura 20). Nos demais tratamentos houve tendência de diminuição gradual de PT-AP ao longo da profundidade. A porosidade total é uma propriedade que influencia a capacidade de retenção de água e a condutividade hidráulica do solo (ONSTAD et al., 1984). Segundo Kiehl (1979), o aumento da densidade aparente com a profundidade do

perfil é normal devido às pressões exercidas pelas camadas superiores que provocam a compactação do solo. A matéria orgânica também influencia na porosidade total do solo por ser um material poroso, de baixa densidade em relação à fração mineral, dificultando o arranjo piramidal das partículas. A cobertura de 2 a 3 cm de solo sobre os materiais geossintéticos possivelmente ocasionou diminuição da matéria orgânica e aumento de densidade nas camadas de 2,5-5 e 5-10 cm. Desta forma diminuiu a PT-AP e consequentemente aumentou a DS-AP nestas duas faixas de solo. Na camada mais profunda, a cobertura de 2 a 3 cm de solo nesses tratamentos com geossintéticos foi insuficiente para influenciar, não tendendo a não variar a densidade nas três camadas mais profundas.

Figura 20: Porosidade total determinada no solo após as chuvas simuladas (PT-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).

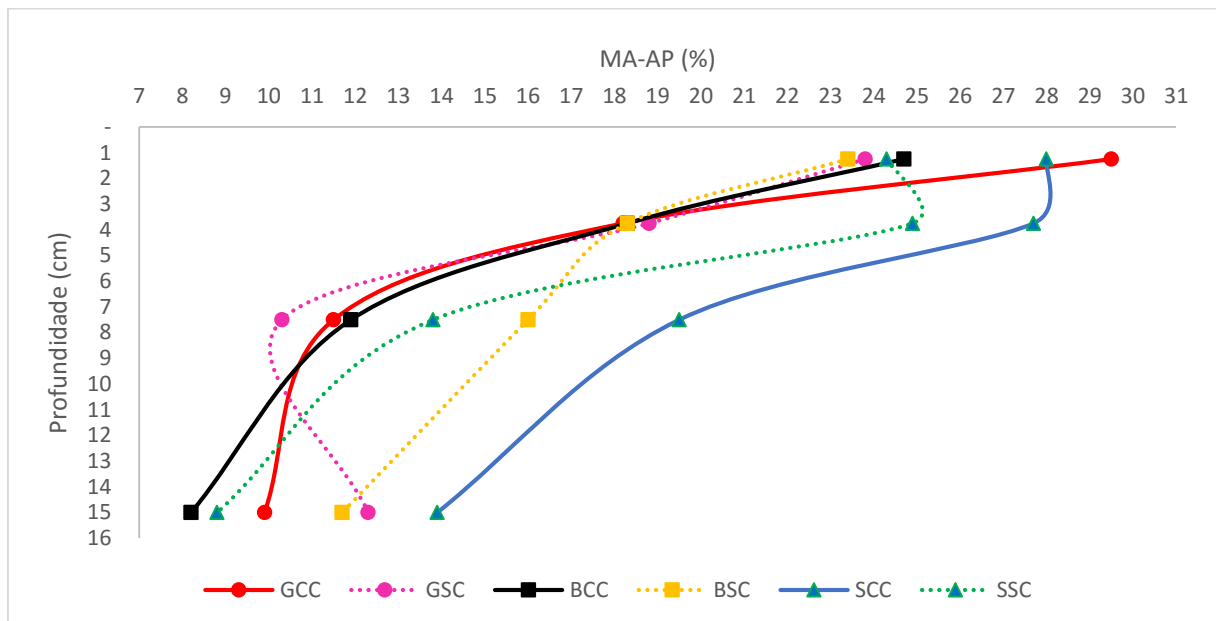


GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A macroporosidade determinada após as chuvas simuladas (MA-AP) tendeu a diminuir ao longo das camadas mais profundas, com exceção da camada de 2,5-5 cm no SSC e na camada 10-20 no GSC (Figura 21). O fluxo macroporoso é mais frequentemente observado na subsuperfície (GUO; LIN, 2018). Isto se deve ao fato da água na interface matriz-macroporo do solo exercer pressão, pois a água converge para os macroporos e gera fluxo macroporoso que aumenta abruptamente a vazão (JARVIS, 2007). Embora os macroporos constituam em geral uma pequena fração de volume total de poros no solo, eles podem dominar o fluxo quase saturado no subsolo (LUXMOORE et al., 1990). Estudos indicam que macroporos com diâmetro equivalente maior que 0,3-0,5 mm podem direcionar o fluxo rápido (BEVEN;

GERMANN, 1982; JARVIS, 2007). A formação de macroporos no solo é afetada principalmente pela erosão hídrica, atividades geológicas e textura do solo (WATANABE; KUGISAKI, 2016). Parte dos MA-AP é constituída por bioporos, dessa forma as diferenças entre os tratamentos SCC e geossintéticos cobertos devem-se aos BP-AP e será discutido adiante.

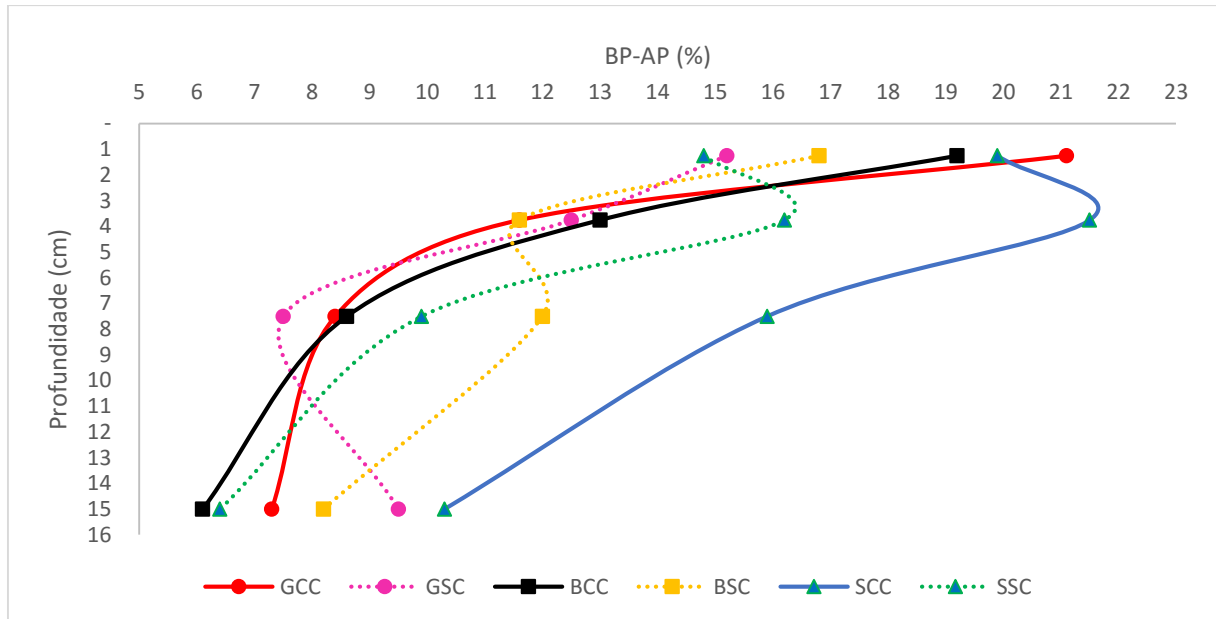
Figura 21: Macroporosidade determinada após no solo as chuvas simuladas (MA-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A bioporosidade determinada no solo após as chuvas simuladas (BI-AP) tendeu a diminuir ao longo da profundidade, com algumas exceções nas camadas 2,5-5 cm para os tratamentos sem geossintéticos, 5-10 cm para o BSC e na camada 10-20 para GSC (Figura 22). Os tratamentos geossintéticos cobertos apresentaram menor volume de BP-AP do que o tratamento SCC. Os geossintéticos possivelmente interferiram no crescimento radicular da aveia preta ao longo das camadas estudadas. Segundo Pan et al. (2018), as raízes crescem através dos espaços abertos da geomanta. Dessa forma, ocorre o entrelaçamento na estrutura 3D. Para o tratamento BCC o entrelaçamento pode também ter ocasionado esse efeito.

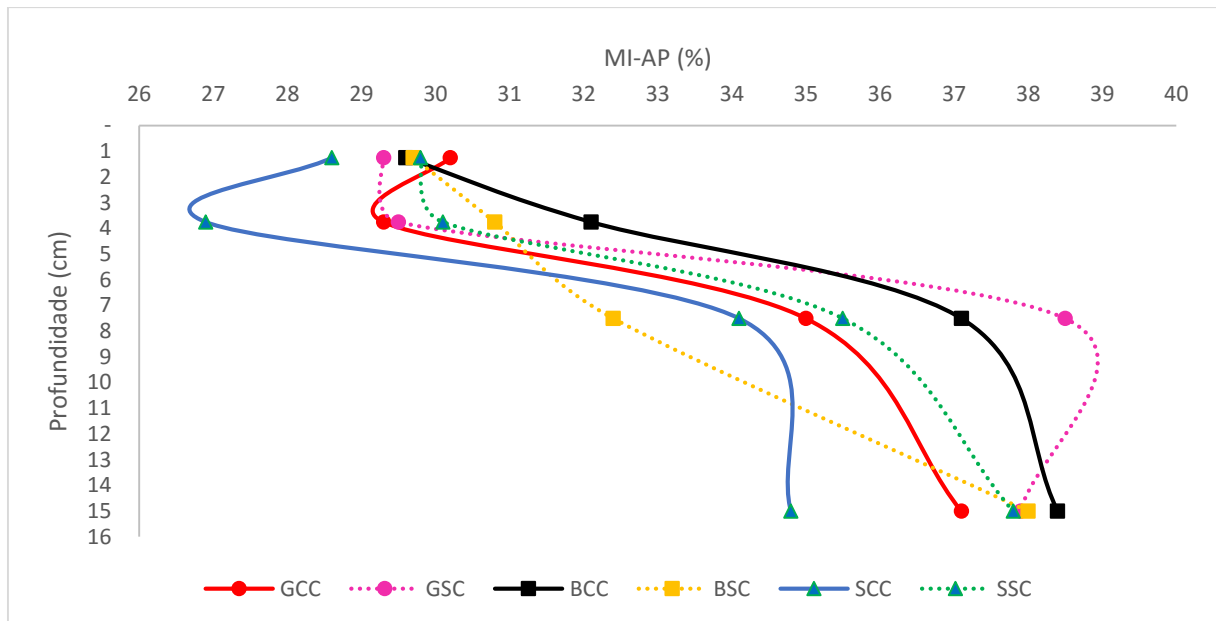
Figura 22: Bioporosidade determinada no solo após as chuvas simuladas (BI-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A microporosidade determinada no solo após as chuvas simuladas (MI-AP) pouco variou nas duas camadas mais superficiais (Figura 23). A diferença mais relevante ocorreu nas camadas 2,5-5 e 5-10 cm com aumento de MI-AP. Para o tratamento BSC a camada mais profunda mostrou grande aumento de MI-AP distinguindo dos demais tratamentos. O gráfico de MI-AP refletiu as modificações ocorridas em MA-AP, porém com tendência inversa e em menor magnitude. Trabalhos com semeadura direta comparada à mata natural e campo nativo também mostraram o mesmo comportamento (LUCIANO et al., 2010; BERTOL et al., 2004a). Uma microporosidade reduzida pode ter impactos negativos no armazenamento de água, desenvolvimento radicular, atividade da população microbiana e rendimento das culturas (ATKINSON et al., 2009).

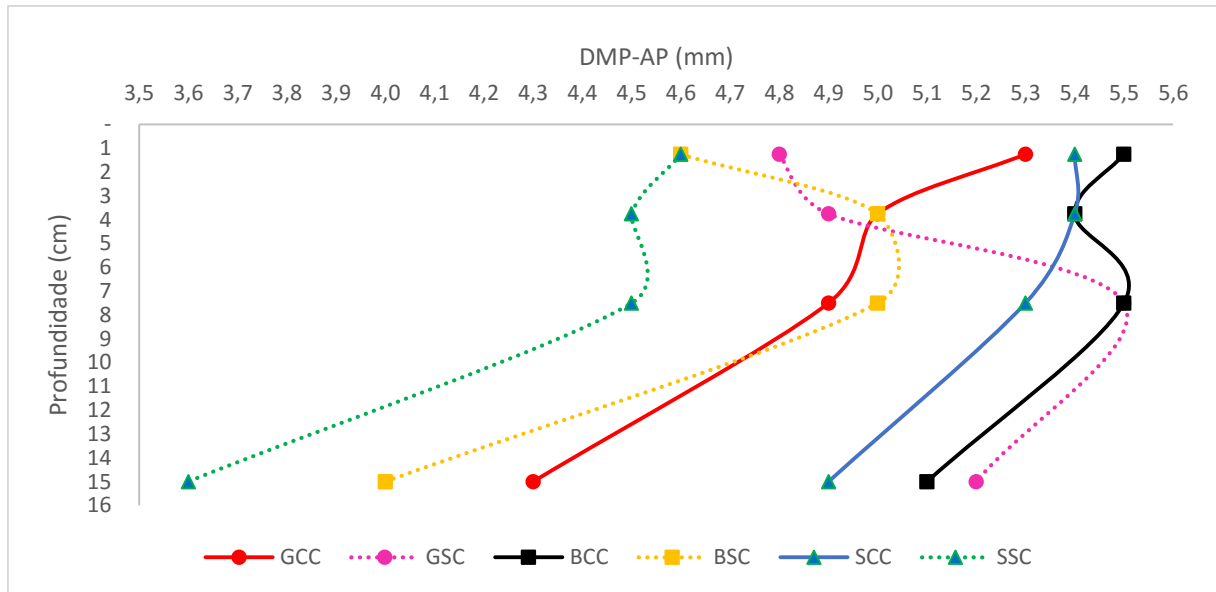
Figura 23: Microporosidade determinada no solo após as chuvas simuladas (MI-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O diâmetro médio ponderado dos agregados determinado no solo após as chuvas simuladas (DMP-AP) tendeu a aumentar nos tratamentos geossintéticos descobertos nas três primeiras camadas superficiais, enquanto nos demais tratamentos ocorreu o contrário (Figura 24). Em todos os tratamentos ocorreu diminuição de DMP-AP nas camadas de solo mais profundas. A diminuição da matéria orgânica e a atividade biológica ao longo da profundidade pode ter sido responsável por essa tendência nessas camadas do solo. Segundo Siqueira et al (1994) esses dois fatores afetam a manutenção e formação de agregados. O tratamento SSC apresentou a pior condição, pois foi o mais carente em matéria orgânica e processos biológicos. Inexplicavelmente, os geossintéticos em solo descoberto não propiciaram os mesmos resultados observados em SSC. O DMP representa a vitalidade de estabilidade dos agregados do solo. Os valores maiores indicam maior resistência do solo à desagregação devido à maior capacidade de aglomeração das partículas (PADBHUSHAN et al., 2015).

Figura 24: Diâmetro médio ponderado dos agregados determinado no solo após as chuvas simuladas (DMP-AP), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

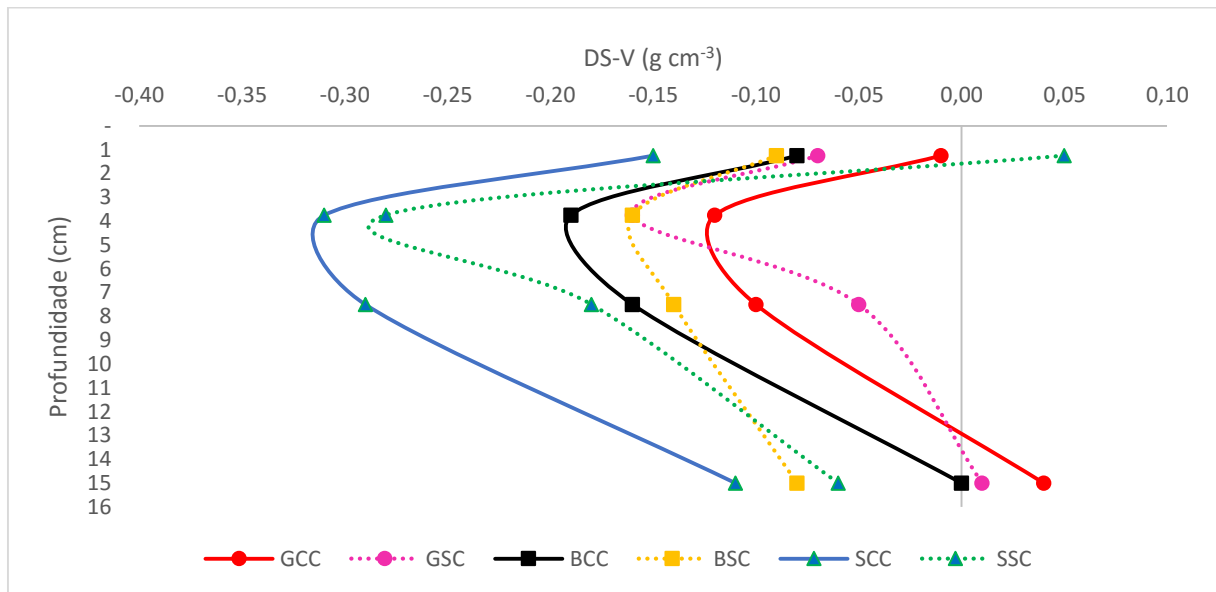
7.3 VARIAÇÃO TEMPORAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Houve diminuição da densidade do solo após a aplicação das quatro chuvas simuladas em comparação ao momento anterior à instalação dos tratamentos (figura 25). Em todos os tratamentos a maior diminuição ocorreu na camada de 2,5-5 cm e nas camadas inferiores essa variação diminuiu. O revolvimento do solo realizado na instalação dos tratamentos ocasionou a diminuição da densidade. Segundo Bertol et al (2004a), o preparo convencional aumenta o volume de poros e diminui a resistência física ao crescimento das raízes. Torres (2003) não constatou distinção entre pousio e preparo convencional em um Latossolo Vermelho Distrófico. No tratamento SCC ocorreu a maior diminuição de DS-V. A cobertura de 2 a 3 cm de solo nos tratamentos com geossintéticos pode ter ocasionado aumento da densidade devido a diminuição da matéria orgânica e, desta forma ter-se distinguido dos demais tratamentos.

Houve tendência de aumento da porosidade total após a aplicação das quatro chuvas simuladas em comparação ao momento anterior à instalação dos tratamentos na camada de 2,5-5 cm e decréscimo nas camadas inferiores (figura 26). Ficou claro que no tratamento SCC ocorreu o maior aumento em todas as camadas do solo, em comparação aos demais tratamentos. O gráfico na figura 26 reproduziu as alterações acontecidas na PT-V, indicando a orientação

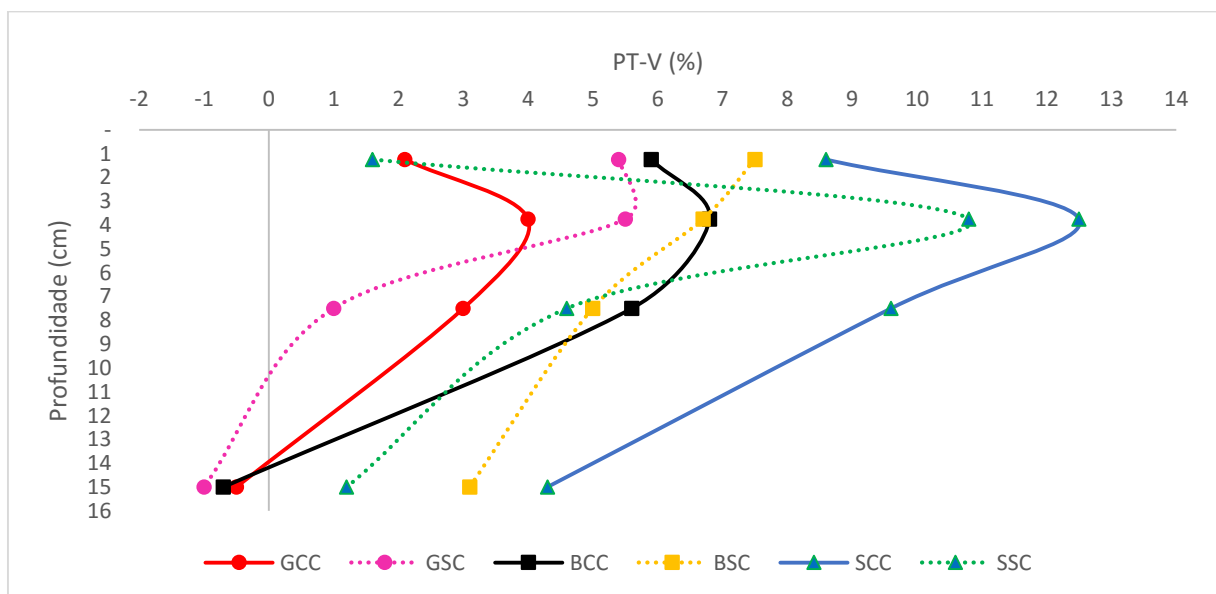
contrária ao ocorrido com a DS-V reproduzida na figura 25. Segundo Santos et al. (2006), o aumento da densidade do solo tem estreita relação com a diminuição da porosidade total.

Figura 25: Variação da densidade entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (DS-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 26: Variação da porosidade total entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (PT-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).

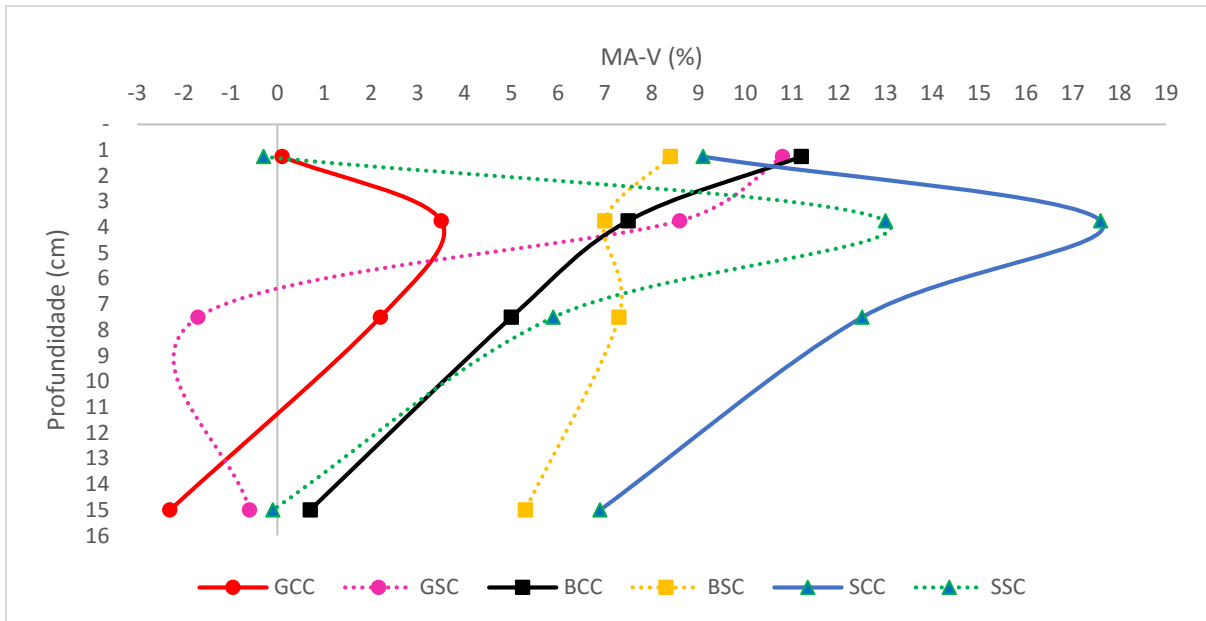


GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Observando os valores de MAP-V, nota-se que nas camadas de solo mais profundas nos tratamentos GCC e GSC houve diminuição de macroporos, enquanto nos tratamentos sem geossintéticos houve aumento na camada de 2,5-5 cm e menor aumento de macroporos ao longo da profundidade (figura 27). É possível observar ainda que no tratamento BCC houve redução do aumento de macroporos ao longo de todo perfil, enquanto no BSC essa variação foi pequena. No tratamento SSC a desagregação do solo na superfície pelo impacto da gota de chuva pode ter obstruído os poros. Isto ocasionou diminuição de macroporos e anulou o benefício do revolvimento mecanizado, e culminando na fraca distinção em relação ao estado de pousio. Segundo Bertol et al.(2004a), no preparo convencional a exposição direta do solo ao impacto das gotas de chuva rompe os agregados e reduz a macroporosidade. No tratamento SCC a cobertura superficial protegeu o solo desse processo em comparação ao SSC. A cobertura vegetal melhora as propriedades físicas do solo, tais como macroposidade (BERTOL et al., 2004a). No tratamento BCC e BSC, a maior quantidade de matéria orgânica proveniente da biomanta pode ter contribuído com o aumento de macroporos na camada superficial em comparação ao estado anterior de pousio. Segundo Souza et al. (2005), a incorporação de palhada no solo no cultivo da cana de açúcar no sistema “cana crua” aumentou a matéria orgânica e a macroporosidade do solo. Inexplicavelmente, no tratamento GSC ocorreu maior aumento de macroporos em comparação com a GCC nas camadas superficiais e diminuição ao final da pesquisa em relação ao estado de pousio inicial.

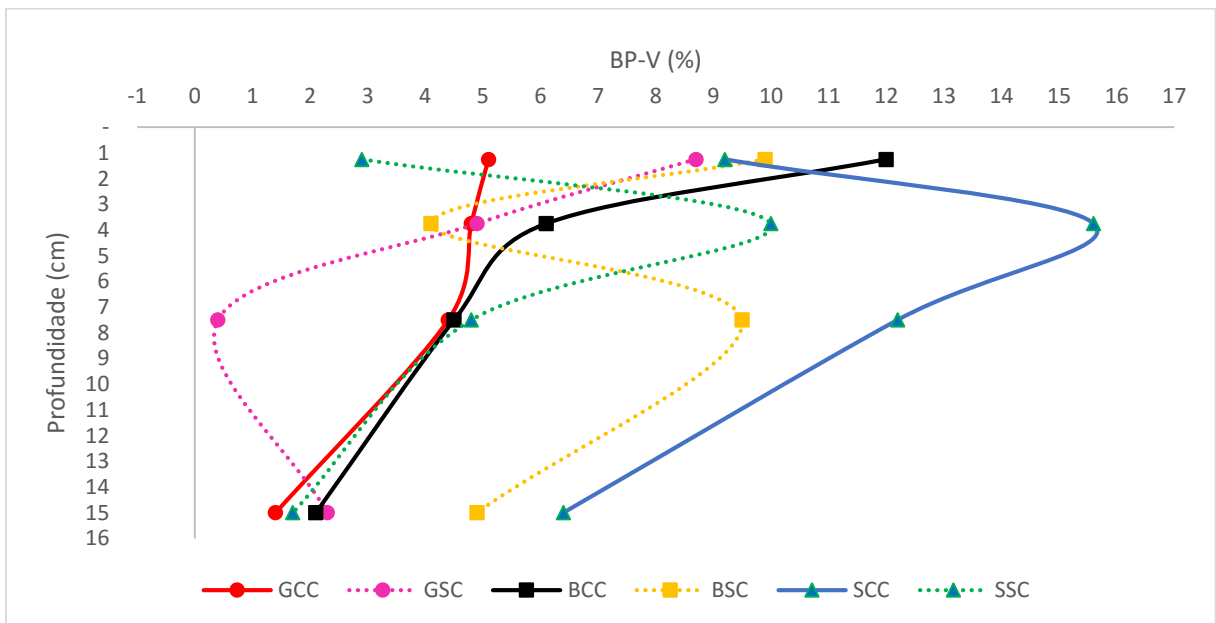
Observou-se maior acréscimo da BP-V nos tratamentos sem geossintéticos na camada de 2,5-5 cm, diminuindo esse acréscimo ao longo do perfil (figura 28). No tratamento BSC houve oscilação desse acréscimo ao longo das camadas do solo, em profundidade. Também, os geossintéticos cobertos tenderam a diminuir o acréscimo da porosidade ao longo do perfil, enquanto no GSC tornou a aumentar o acréscimo de porosidade na camada de 10-20 cm. Nos tratamentos sem geossintéticos o revolvimento do solo ocasionou condições melhores para o desenvolvimento da atividade biológica. Segundo Costa et al. (2009), nesses casos a mobilização do solo contribui para a decomposição da matéria orgânica. A colocação de 2 a 3 cm de solo sobre os geossintéticos e entrelaçamento das raízes com esse material, pode ter interferido nesses resultados, diminuindo os bioporos na camada de 2,5-5 cm. Entre os tratamentos com geossintéticos, aqueles com biomanta tenderam potencializar o aumento de bioporos. Inexplicavelmente, no tratamento BSC ocorreu maior aumento de bioporos em comparação com a BCC nas camadas mais profundas.

Figura 27: Variação da macroporosidade entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (MAP-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

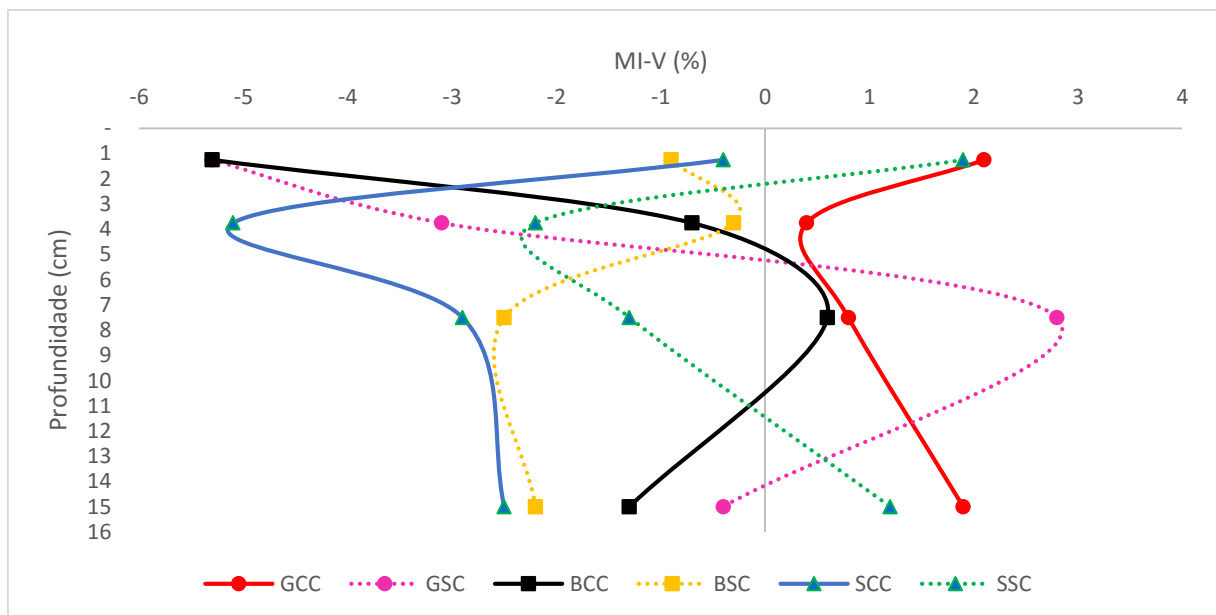
Figura 28: Variação da bioporosidade entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (BP-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A variação da microporosidade entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (MIP-V) mostrou a inexistência de condição padrão que possa esclarecer o efeito dos geossintéticos e da cobertura vegetal. A pequena variação na microporosidade observada entre o final da pesquisa e o estado de pousio inicial pode estar relacionada pela lenta modificação desta variável. Em outros trabalhos também foi constatado pequena variação no volume de microporos em relação a variação ocorrida nos macroporos, entre os sistemas de manejo e cultivo, constatando que esta variável foi modificada mais lentamente e com menor intensidade do que os macroporos (BERTOL et al., 2001; BERTOL et al., 2004a). A tendência de diminuição da microporosidade pode estar relacionada com a diminuição da densidade do solo, concordando com a mesma relação feita por Torres (2015) para um latossolo vermelho.

Figura 29: Variação da microporosidade entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (MIP-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das camadas).

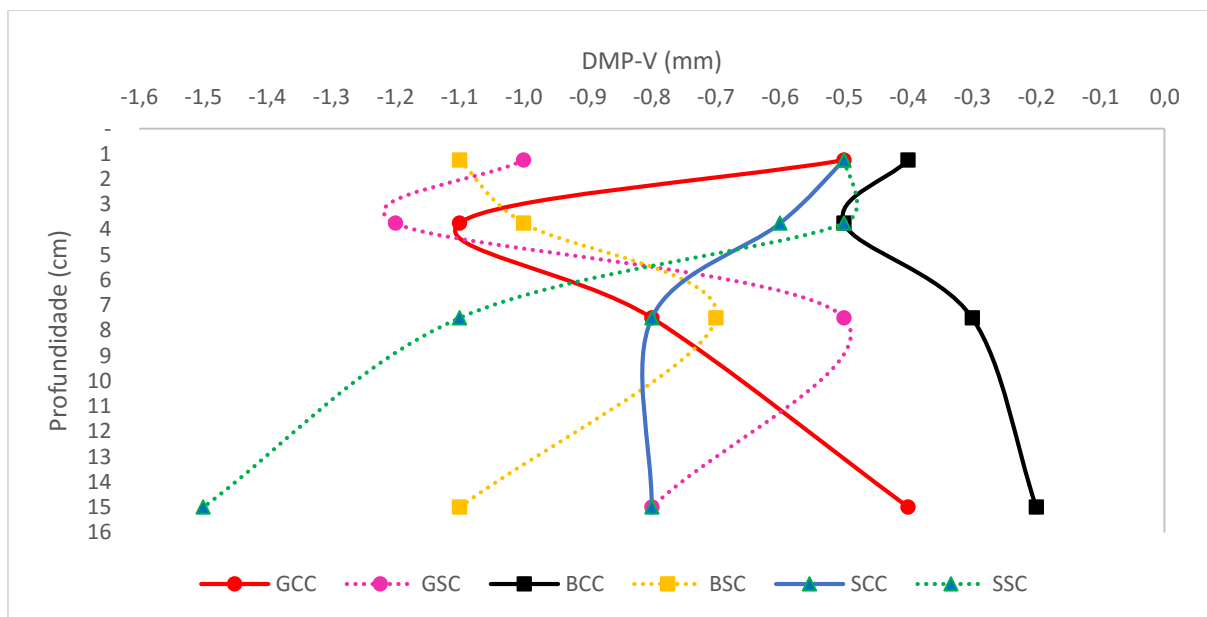


GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para o caso do DMP-V, observa-se que nos tratamentos com geossintéticos houve comportamento semelhante entre si ao longo do perfil do solo (Figura 30). Nos tratamentos sem cobertura vegetal diminuiu o DMP nas duas primeiras camadas, reduzindo este efeito na camada 5-10 cm e aumentando na camada mais inferior de solo. Os geossintéticos cobertos apresentaram maior diminuição do DMP na camada 2,5-5 cm. No SSC ocorreu diminuição

progressiva do DMP-V ao longo da profundidade do solo, enquanto no SCC houve tendência de estabilizar essa variação. A diminuição do DMP pode ser devida à diminuição da densidade do solo, concordando com Torres (2015) para um latossolo vermelho. Dessa forma, constatou-se que a modificação desde o estado de pousio e até instalação dos tratamentos houve alterações nos atributos físicos do solo que se refletiram principalmente na agregação. Segundo Marcolan e Anghinoni (2006), além das forças disruptivas da ação mecânica, o solo revolvido mineralizou a matéria orgânica diminuindo a estabilidade dos agregados. A baixa variação de DMP verificada no tratamento BCC pode estar relacionada com aporte de matéria orgânica pela biomanta, embora isso não tenha se confirmado no tratamento BSC.

Figura 30: Variação do diâmetro médio ponderado entre o momento antes da instalação dos tratamentos na condição do solo em pousio e após aplicação de quatro chuvas simuladas (DMP-V), em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições e camadas).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

7.4 SUMÁRIO INTERPRETATIVO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

As propriedades físicas como a densidade aparente, o volume total poros, macroporos, bioporos e microporos, e o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP), são relevantes e caracterizam a condição física do solo na camada avaliada.

Neste estudo, em poucos casos ocorreu distinção entre os tratamentos estudados com o solo no estado de pousio, ou seja, antes de instalar a pesquisa, para densidade do solo.

Transcorridos 452 dias, após a aplicação de quatro chuvas simuladas houve diminuição da densidade do solo em praticamente todos os tratamentos. Isso ocorreu devido ao revolvimento mecânico do solo realizado por ocasião da instalação da pesquisa. A camada de 2 a 3 cm de solo colocada sobre os materiais geossintéticos possivelmente resultou em diminuição da matéria orgânica e aumento da compactação na superfície. Isso diminuiu a diferença de densidade do solo entre esses tratamentos e aqueles sem os materiais geossintéticos. Nesses tratamentos a porosidade total comportou-se do mesmo modo como a densidade.

O maior volume de bioporos, na camada superficial, no estado de pousio, possivelmente foi devido a maior quantidade de raízes e matéria orgânica. A pequena variação na densidade do solo entre camadas ocasionou pequena variação no volume dos bioporos ao longo da profundidade. Isso ocorreu nos tratamentos com o solo em pousio e com geomanta sem cobertura. Após aplicação das quatro chuvas simuladas, as camadas mais superficiais foram as que apresentaram maior densidade. O entrelaçamento dos geossintéticos com as raízes da aveia afetou o crescimento radicular da cultura, reduzindo o volume de bioporos em comparação ao tratamento com apenas cobertura vegetal. Nos tratamentos sem geossintéticos o revolvimento do solo ocasionou condições melhores para o desenvolvimento da atividade biológica, em comparação ao solo em estado de pousio. Entre os tratamentos com geossintéticos, aqueles com biomanta tenderam a aumentar os bioporos.

No estado de pousio, o solo apresentou maior volume de macroporos nas camadas superiores em relação às inferiores, com exceção do tratamento GSC. Após aplicação das quatro chuvas simuladas, todos em todos os tratamentos houve tendência de diminuir o volume de macroporos em profundidade. Com o revolvimento, houve tendência de aumentar macroporosidade nos tratamentos com cultivo, mas no tratamento SSC houve obstrução dos poros devido a desagregação de partículas. Nos tratamentos sem geossintéticos, a cobertura vegetal ocasionou aumento expressivo da variação entre o início da pesquisa (solo em pousio) e o final (após a aplicação das quatro chuvas simuladas). Possivelmente, o aporte de matéria orgânica pela biomanta ocasionou aumento de macroporos. A geomanta resultou em diminuição de macroporos nas camadas mais profundas do solo em relação as camadas mais superficiais. No solo com geomanta descoberto houve aumento de macroporos em relação ao tratamento com cobertura vegetal.

O volume de microporos tendeu a diminuir em profundidade nas camadas superiores em relação as camadas mais profundas, em todas as situações estudadas. A variação entre os momentos avaliados foi muito pequena, não sendo possível diferenciar o efeito dos

geossintéticos e da cobertura vegetal. A diminuição dos microporos em algumas situações pode estar relacionada com a diminuição da densidade do solo.

No estado de pousio, o desenvolvimento radicular e a dinâmica da matéria orgânica proporcionaram maior valor de diâmetro médio ponderado de agregados na camada superior com a diminuição ao longo da profundidade do solo. Após aplicação de quatro chuvas simuladas, os tratamentos em solo descoberto e com geossintéticos apresentaram tendência de aumento de estabilidade dos agregados ao longo da profundidade para as três camadas superficiais. No tratamento SSC ocorreu o menor valor foi devido ao baixo teor de matéria orgânica e fraca atividade biológica. Conforme variação dos resultados, a diminuição do DMP em todos os tratamentos pode estar relacionada com o revolvimento do solo e consequente mineralização da matéria orgânica e diminuição da densidade do solo.

7.5. DADOS DE EROÇÃO HÍDRICA OBTIDOS NO DIA DA CHUVA SIMULADA

7.5.1 Umidade gravimétrica do solo

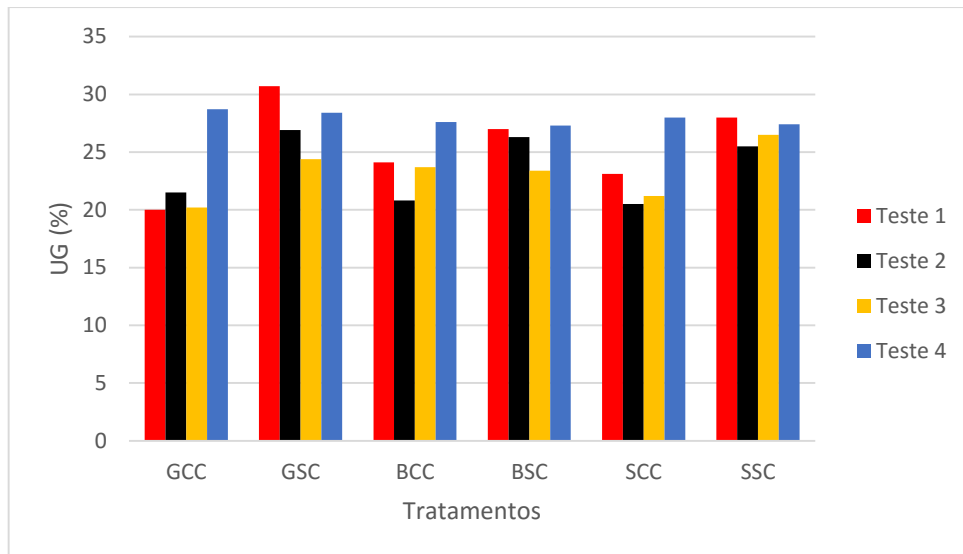
A umidade gravimétrica do solo (UG) foi menor nos tratamentos com cobertura vegetal do que no solo descoberto (figura 31). Provavelmente, houve perda de água do solo devido à transpiração pela cultura da aveia. Houve distinção numérica entre os tratamentos nos três primeiros testes de chuva. Na quarta chuva simulada essa diferença não ocorreu de modo nítido devido ocorrência de chuva natural no dia anterior. Segundo Brodowski (2013), o fator umidade do solo no momento de ocorrência da chuva influencia fortemente a erosão hídrica. Assim, o aumento da umidade inicial do solo acarretou diminuição de infiltração de água e aumento de susceptibilidade do solo à erosão, especialmente nos tratamentos em solo descoberto.

7.5.2 Tempo necessário para início da enxurrada

O tempo necessário para início da enxurrada (IE) aumentou progressivamente do teste 1 ao teste 3 de chuva, com exceção do tratamento SSC (figura 32). A cobertura vegetal proporcionou aumento de IE nos tratamentos com geomanta e sem geossintéticos, ao passo que na biomanta esse feito foi observado apenas nos dois últimos testes. O quarto teste foi o que ocasionou distinção nítida entre tratamentos, possivelmente devido à chuva natural ocorrida no dia anterior. Segundo constatado por Almeida et al. (2021), chuvas com igual erosividade, mas com duração e intensidade distintas entre si, influenciam o tempo de início do escoamento, sem

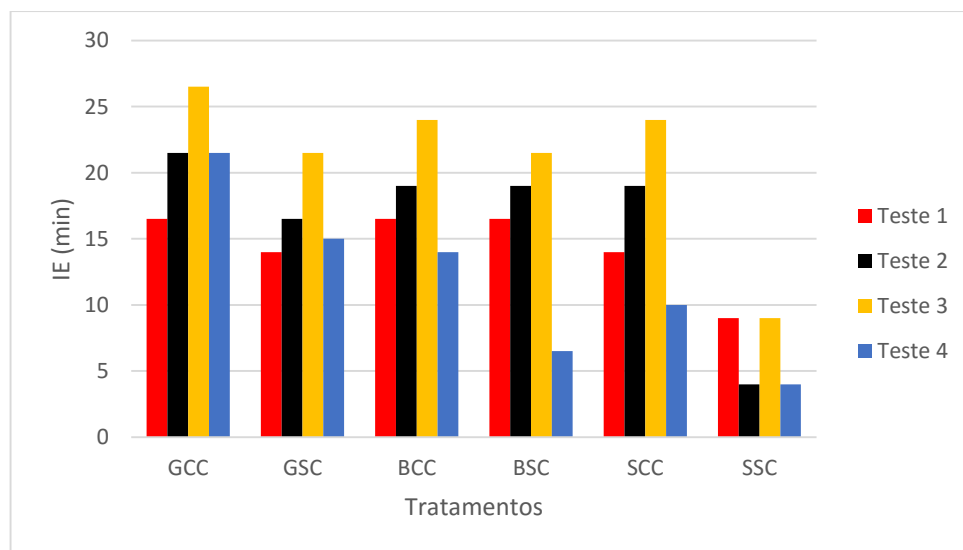
alterar a produção de sedimentos. O tempo de início do escoamento superficial é maior sob chuvas com longa duração e baixa intensidade. Além disso, o escoamento superficial está também relacionado à duração e volume de chuva, embora esse efeito não seja totalmente compreendido (WANG et al., 2017; KINNELL, 2020).

Figura 31: Umidade gravimétrica (UG) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições).



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 32: Tempo de início da enxurrada (IE) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC (média das repetições).

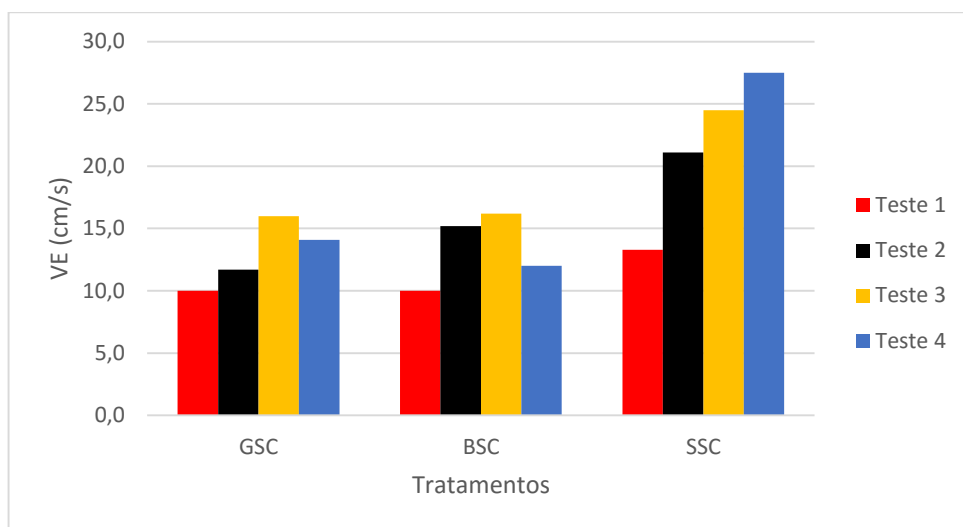


GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

7.5.3 Velocidade da enxurrada

A velocidade da enxurrada (VE) aumentou no tratamento SSC ao longo dos testes de chuva, enquanto nos tratamentos GSC e BSC não houve aumento (figura 33). Conforme Moss (1988) e Kinnell (1990), a taxa de erosão entre sulco é explicada pela velocidade de escoamento. A relação linear entre perda de solo e VE está relacionada com a capacidade de transporte do fluxo rápido. Segundo Bertol et al. (2010), a VE é um fator determinante do diâmetro de sedimentos transportados, devido à sua influência na energia de transporte do escoamento superficial. A menor VE nos tratamentos GSC e BSC se deve ao fato de que os geossintéticos contribuíram para aumentar o armazenamento superficial e infiltração de água no solo. Também, esses materiais realizaram impedimento físico ao escoamento da água, conforme verificado por Bertol, Cogo e Miquelluti (1997) para resíduos culturais de milho e trigo.

Figura 33: Velocidade da enxurrada (VE) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC.



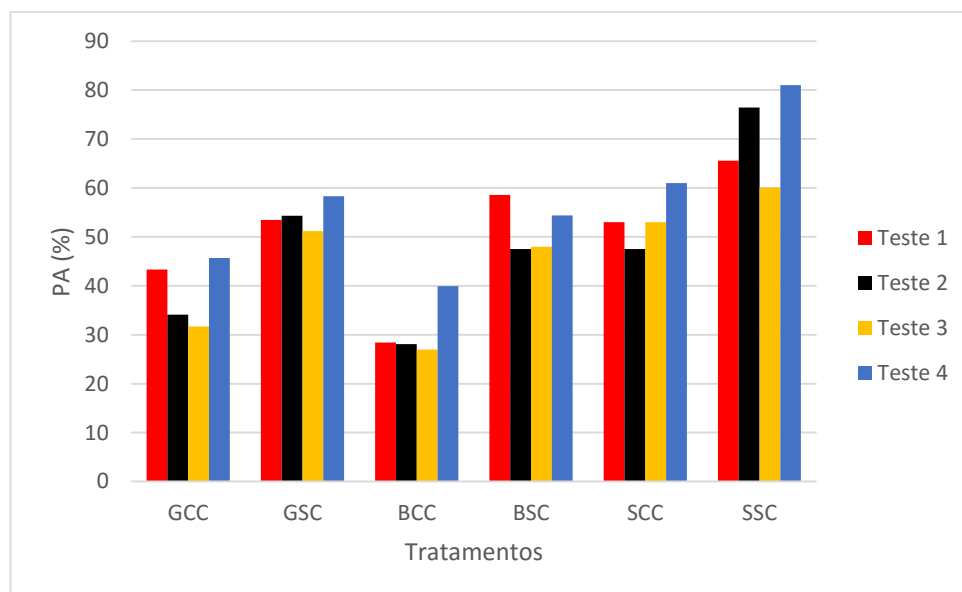
GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

7.5.4 Perdas de água por escoamento superficial

As perdas de água por escoamento superficial (PA) foram menores nos tratamentos geossintéticos com cobertura vegetal, em todas as chuvas aplicadas (Figura 34). Nos tratamentos geossintéticos descobertos as PA foram semelhantes às do SCC. A condição de

solo totalmente descoberto foi a pior condição em todas as chuvas. A utilização de geossintéticos ocasionou maior infiltração de água no solo, com maior armazenamento superficial e menor velocidade de enxurrada. A cobertura vegetal favoreceu a infiltração de água no solo. Silva e Kato (1997) observaram aumento de infiltração de água no solo devido a cobertura vegetal. A cobertura aumentou a macroporosidade e dissipou da energia de impacto da gota de chuva direto na superfície do solo. Para Pruski et al. (1997), as raízes das plantas formam caminhos (galerias) preferenciais que facilitam o fluxo de água no solo. A maior umidade inicial devido à chuva natural antes do quarto teste, proporcionou maior PA em comparação aos demais testes. No tratamento SSC o solo exposto permitiu o impacto direto das gotas das chuvas sobre a superfície do solo, gerando salpicamento e selamento superficial. Isso reduziu a infiltração de água no solo, conforme Cândido et al. (2014) para um solo do Cerrado.

Figura 34: Perdas de água (PA) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC.



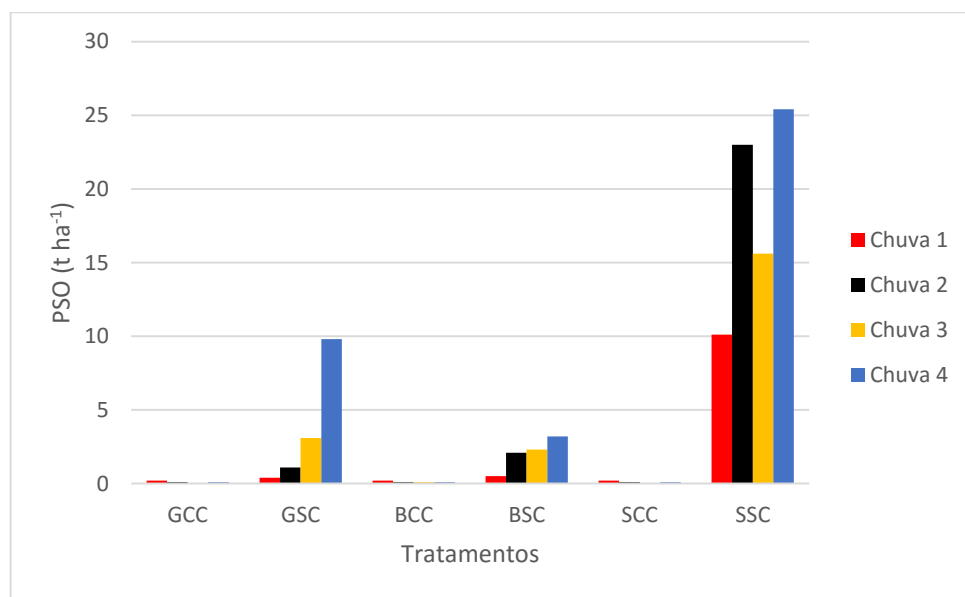
GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

7.5.5 Perdas de solo observadas

As perdas de solo observadas (PSO) foram muito baixas nos tratamentos com cobertura vegetal (figura 35). Nos tratamentos com geossintéticos descobertos observou-se aumento gradual do teste 1 de chuva para o teste 4, de modo que no teste 1 as perdas foram semelhantes às verificadas nos tratamentos com vegetação. Em todos os testes o tratamento SSC exibiu os

piores resultados. Fernandes (2009) também concluiu que a biomanta foi capaz de reduzir as perdas de solo, cuja eficácia foi potencializada pela cobertura vegetal. No entanto, apesar da capacidade da geomanta com cobertura vegetal em reduzir a perda de solo, o autor não observou o mesmo desempenho para o mesmo material em solo descoberto. Segundo Montenegro et al. (2008), a cobertura vegetal protegeu o solo do impacto das gotas de chuva, dissipando a energia cinética e reduzindo a perda de solo. Na condição descoberta, a menor PSO nos tratamentos geossintéticos em comparação com SSC foi devido a capacidade deste material em diminuir a perda de água por escoamento superficial. Bertol et al. (2004b), ao avaliar a erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo, também constatou que a perda de solo seguiu a mesma tendência da perda de água. Para o tratamento SSC a maior velocidade da enxurrada e o maior sulcamento do solo possivelmente aumentaram a energia de desagregação e transporte da enxurrada em relação aos demais tratamentos, conforme condição também constatada por Cogo, Moldenhauer e Foster (1983) e Bertol et al. (2010).

Figura 35: Perda de solo observada (PSO) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC.



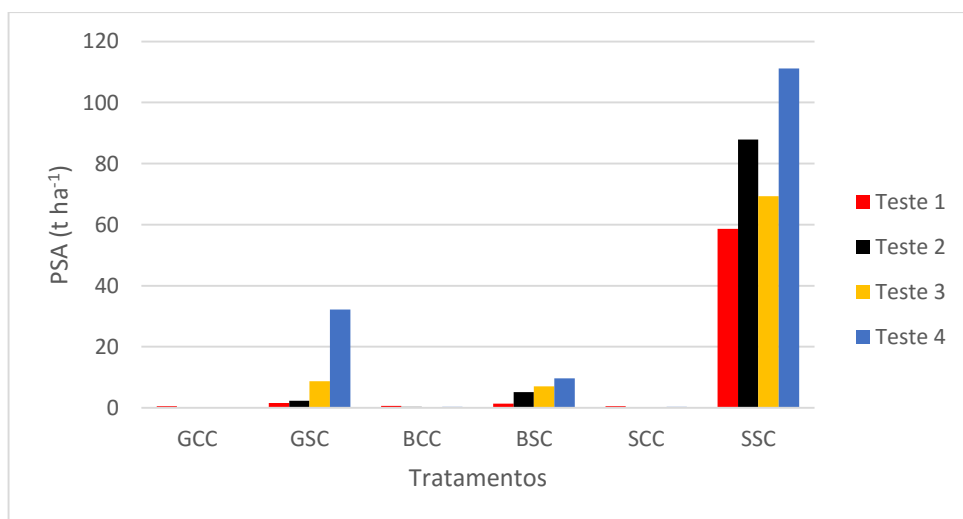
GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

7.5.6 Perdas de solo ajustadas

As PSO em campo foram ajustadas para a declividade de 30% e para a intensidade de chuva simulada planejada de 65 mm h⁻¹ (PSA), conforme descrito em Material e Métodos. As

PSA também apresentaram valores muito baixos nos tratamentos com cobertura vegetal (figura 36). A cobertura vegetal com geossintéticos não ocasionou distinção numérica em relação ao tratamento SCC. Os tratamentos em solo descoberto foram os que apresentaram maiores PSA. Os geossintéticos em solo descoberto ofereceram maior proteção comparados aos tratamentos SSC, no primeiro teste. Contudo, esse efeito foi reduzindo progressivamente para os demais testes. Os resultados evidenciaram que os materiais geossintéticos devem ser colocados em solos facilmente erodíveis, associados a uma cobertura vegetal de alto índice de germinação e rápido estabelecimento. Na condição de umidade inicial homogênea, como a que ocorreu no teste 4, a geomanta apresentou menor desempenho do que a biomanta, em desacordo com o que ocorreu nos demais testes. A PSA foram de 2 e 5,8 vezes maior que na PSO, com o tratamento GCC apresentando em média os menores aumentos enquanto que SSC teve situação contrária. Pomianoski (2005) obteve valores semelhantes na condição de chuva natural. O autor verificou que as PSO na declividade de 30% foram 2,5 e 3,5 vezes maiores do que as PSO em campo na declividade de 10 e 20%, respectivamente. Esse trabalho foi realizado em um sistema agroflorestal com a espécie bracatinga (*Mimosa scabrella*), utilizando o fogo para quebra de dormência das sementes e acelerando o repovoamento vegetal. Amorim et al. (2001) constataram que as perdas de solo aumentaram com o aumento da energia cinética da chuva e da declividade do terreno, sob chuva simulada. Nesse caso, a declividade apresentou efeito menos expressivo na perda total de solo comparação à energia cinética da chuva. As perdas de solo aumentaram quase nove vezes quando a declividade do terreno aumentou de 2 para 18%.

Figura 36: Perdas de solo ajustada (PSA) para os tratamentos sob quatro testes de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC.



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

7.5.7 Distribuição de diâmetro dos sedimentos transportados pela enxurrada e índice D_{50}

Os sedimentos transportados pela enxurrada foram avaliados por meio do índice D_{50} que representa a distribuição relativa de diâmetro dos sedimentos (DST). Os valores de DST distinguiram-se entre os tratamentos nos diversos testes de chuva. No teste 1 (Figura 37), a erosão ocorrida no tratamento GCC apresentou sedimentos de diâmetro semelhante aos demais tratamentos, com exceção do tratamento BSC. No teste 2 (figura 38), esse tratamento teve baixa perda relativa de sedimentos entre 0,5 e 2,00 mm, com apenas o tratamento BSC tendo resultado menor, enquanto no teste 3 (figura 39) o tratamento GCC teve perda superior que os tratamentos BSC e SCC. No teste 4 (figura 40), o tratamento GCC apresentou baixa perda relativa de sedimentos para todas os diâmetros, com resultados semelhantes com os do tratamento SCC.

No teste 1, o tratamento GSC apenas não apresentou perda de sedimentos semelhante com o tratamento BSC. No teste 2, esse tratamento apresentou alta perda relativa de sedimentos no intervalo entre 0,5 e 2 mm, enquanto nos testes 3 e 4 isso ocorreu no intervalo de diâmetro entre 0,038 e 2 mm.

Ainda no teste 1 de chuva, o tratamento BCC apresentou elevada perda de sedimentos com diâmetro no intervalo entre 0,038 mm e 0,25 mm. No teste 2, o tratamento BCC exibiu perdas intermediários com relação aos demais. Neste teste, o tratamento BCC apresentou diminuição de sedimentos no intervalo entre 0,25 e 1 mm perdidos em relação aos tratamentos GSC e SSC. No teste 3, esse tratamento apresentou valores intermediários de diâmetro de sedimentos perdidos, semelhantes ao tratamento GCC. No teste 4, o tratamento BCC novamente oportunizou diminuição de sedimentos em relação aos tratamentos GSC e SSC, no intervalo de 0,038 mm e 0,5 mm.

No teste 1, o tratamento BSC apresentou baixa perda relativa de sedimentos de todos os diâmetros em relação aos demais tratamentos. No teste 2 de chuva, esse tratamento apresentou baixa perda relativa de sedimentos no intervalo de diâmetro entre 0,05 e 2 mm, enquanto no teste 3 isso ocorreu no intervalo de diâmetro entre 0,125 mm e 0,5 mm, em relação aos demais tratamentos. No teste 4, no tratamento BSC houve aumento da perda de sedimentos de menor dimensão, no intervalo entre 0,038 mm e 0,5 mm em relação aos tratamentos SCC e GCC.

No teste 1, o tratamento SCC apresentou resultado intermediário em relação aos demais, quanto ao diâmetro de sedimentos perdidos pela erosão, distinguindo graficamente apenas do tratamento BSC. No teste 2, este tratamento apresentou aumento na perda de sedimentos, no intervalo de diâmetro entre 0,053 e 0,25 mm em relação ao tratamento BSC. No teste 3, o tratamento SCC apresentou baixa perda de sedimentos nos diâmetros 0,038 a 0,053 mm e 1 a 2

mm em relação aos demais tratamentos, enquanto no teste 4 isso ocorreu em todos os diâmetros com resultado semelhante ao GCC.

No teste 1, o tratamento SSC apresentou alta perda de sedimentos no intervalo de diâmetro entre 0,5 e 2 mm, enquanto no teste 2 isso ocorreu entre 0,038 e 0,25 mm. No teste 3 de chuva, o tratamento SSC diminuiu a perda de sedimentos, em todos os diâmetros, em relação ao tratamento GSC, enquanto no teste 4 a mesma situação ocorreu no intervalo de diâmetro entre 0,038 e 0,5 mm.

A metade da massa de sedimentos transportados que apresentou diâmetro menor do que o diâmetro em questão (D_{50}), diferenciaram-se entre os tratamentos nos vários testes de chuvas. No teste 1, metade da massa dos sedimentos perdidos no tratamento GCC foi de partículas menores que a areia muito fina, enquanto no teste 2 esse valor correspondeu a partículas menores que a areia fina. No teste 3, metade da massa dos sedimentos perdidos do tratamento GCC foi de partículas cuja dimensão é inferior à areia média, enquanto no teste 4, essa mesma porção de massa representou partículas menores que o silte.

No teste 1, o tratamento GSC teve metade da massa dos sedimentos com partículas de diâmetro menor do que o da areia muito fina. Nos testes 2 e 4, o D_{50} passou para partículas com dimensão inferior a areia grossa, enquanto no teste 3, essa mesma porção de massa foi de partículas menores que areia muito grossa.

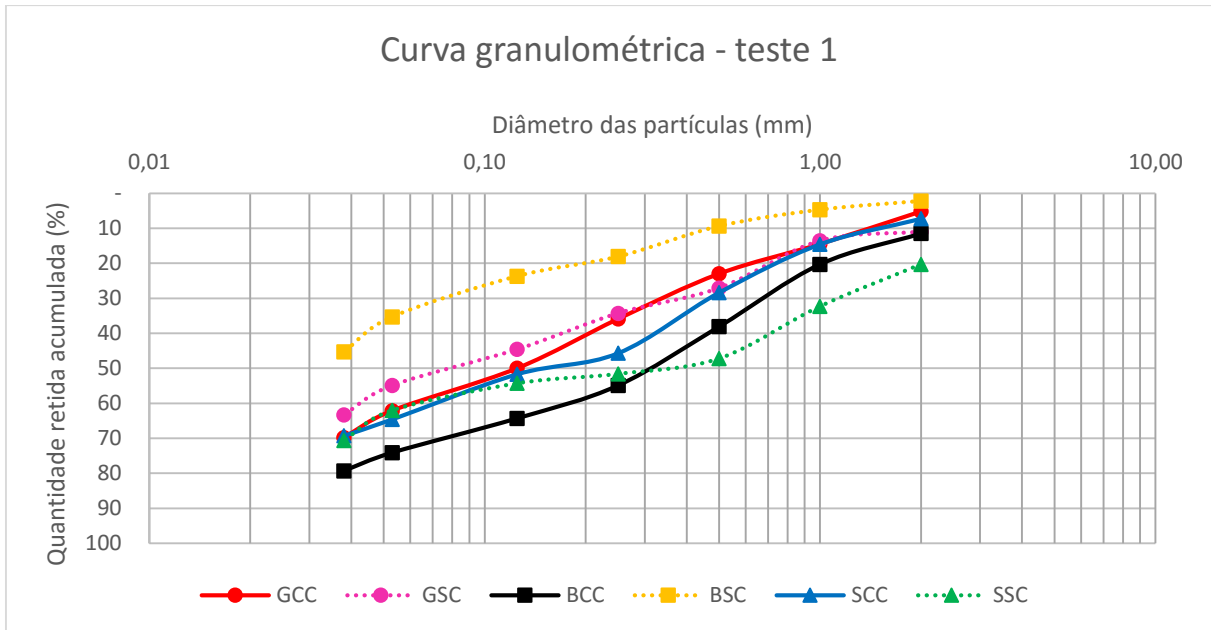
No teste 3, a metade da massa de sedimentos transportados no tratamento BCC correspondeu as partículas de solo de dimensão inferior à areia fina, enquanto nos demais testes o D_{50} passou para partículas de solo menores que área média.

No teste 4, o D_{50} do tratamento BSC correspondeu a partículas com diâmetro abaixo da areia muito fina, enquanto nos demais testes a metade da massa dos sedimentos perdidos era de partículas de dimensão inferior ao silte.

No teste 1, o tratamento SCC teve metade da massa sedimentos transportados com partículas de diâmetro inferior ao da areia fina, enquanto no teste 2 o D_{50} representou partículas de diâmetro inferior ao da areia muito fina. Nos testes 3 e 4 a metade da massa de sedimentos perdidos correspondeu a partículas de diâmetro inferior ao silte.

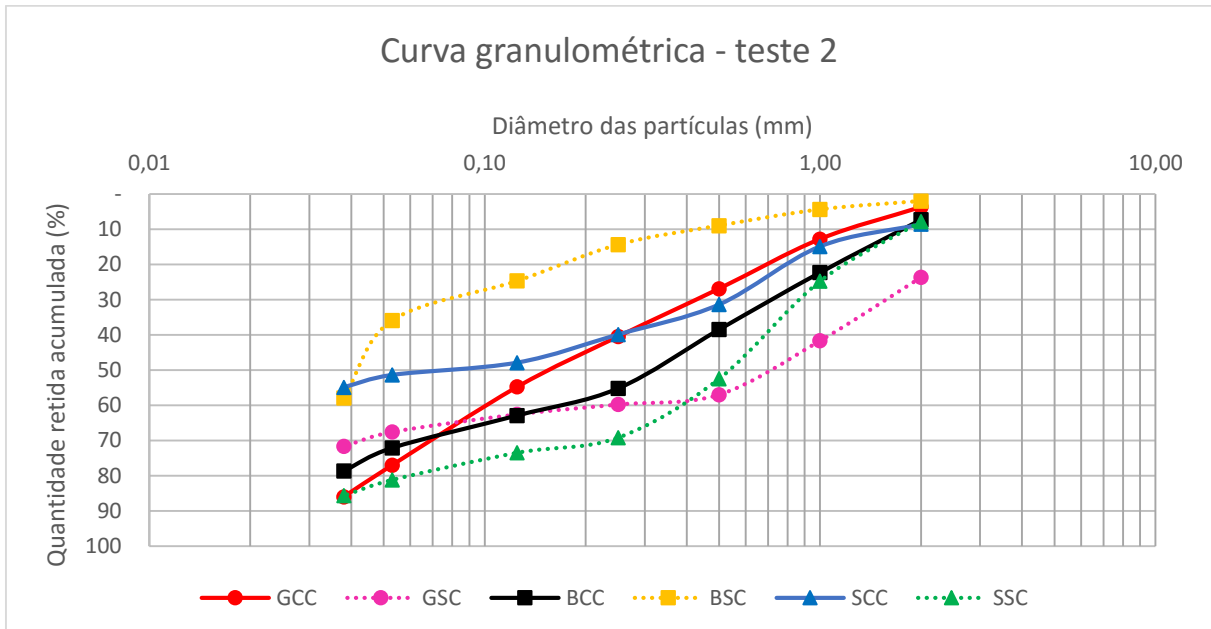
No teste 1, metade da massa de sedimentos transportados no tratamento SSC era composta de partículas com dimensão inferior areia média, quanto nos demais tratamentos as partículas eram menores que areia grossa.

Figura 37: Curva granulométrica dos sedimentos transportados no teste 1 de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC.



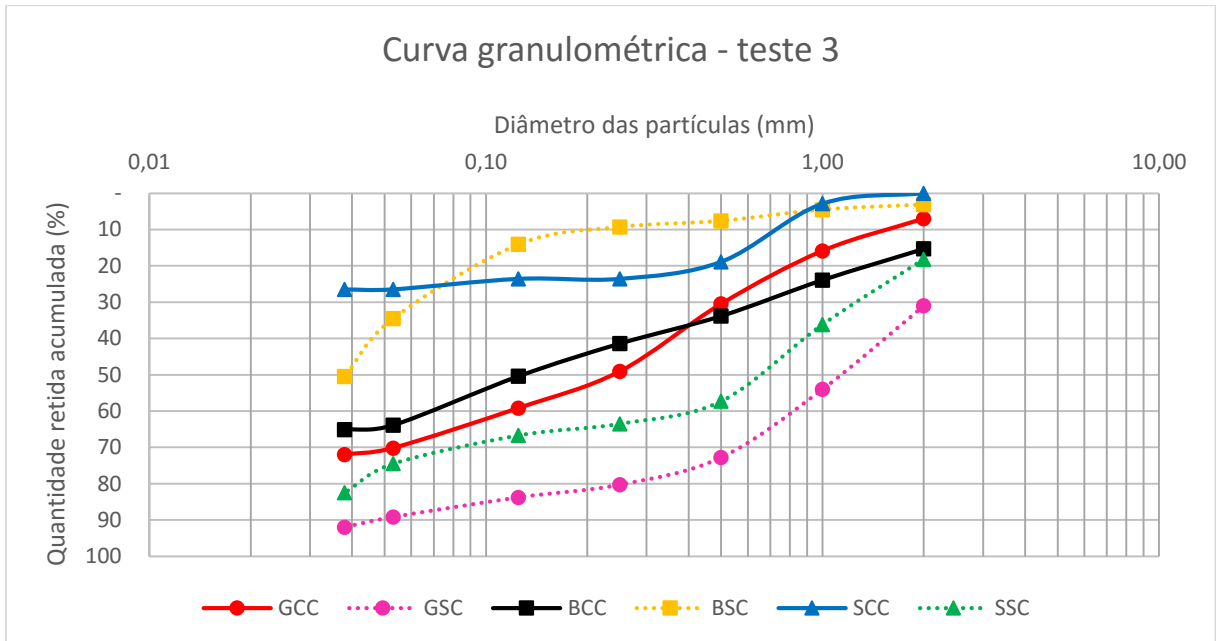
GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 38: Curva granulométrica dos sedimentos transportados no teste 2 de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC.



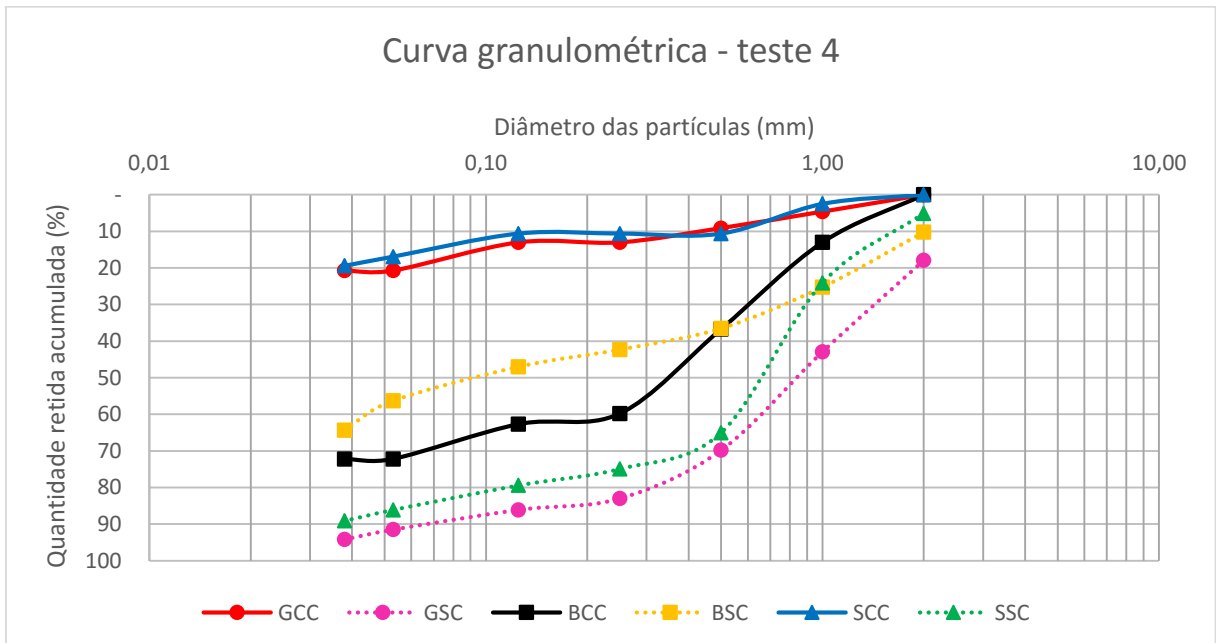
GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 39: Curva granulométrica dos sedimentos transportados no teste 3 de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC.



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 40: Curva granulométrica dos sedimentos transportados no teste 4 de chuva simulada, em um Cambissolo Húmico em Lages SC.



GCC= Geomanta com cobertura, GSC= Geomanta sem cobertura, BCC= Biomanta biodegradável com cobertura, BSC= Biomanta biodegradável sem cobertura; SCC= apenas solo com cobertura, SSC= apenas solo sem cobertura.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os sedimentos de menor diâmetro são predominantemente transportados quando a velocidade da enxurrada é baixa devido à baixa energia de transporte, compensando o menor número de sedimentos de maior diâmetro e, ou, mais densos (Bertol et al., 2010). O alto D_{50} no tratamento SSC está justificado principalmente pela maior velocidade da enxurrada e também pelo maior sulcamento do solo, que ocasionaram aumento da energia de desagregação e transporte da enxurrada neste tratamento, conforme constatado também por Cogo, Moldenhauer e Foster (1983) e Bertol et al. (2010) para solo descoberto. Em comparação com tratamento SSC, o tratamento GSC apresentou maior D_{50} e menor VE, diferentemente do que ocorreu na pesquisa de Bertol et al. (2010) onde o índice D_{50} aumentou potencialmente com o aumento da VE. Para os demais tratamentos, o baixo valor de D_{50} está possivelmente relacionado com a cobertura vegetal e a biomanta que atuou na dissipação da energia cinética das gotas de chuva. Isso reduziu a desagregação do solo e a velocidade da enxurrada, aumentando o tempo de deposição dos sedimentos, sobretudo os maiores e mais densos. A diminuição da velocidade da enxurrada com a perda energia de transporte e, por isso, passa a transportar, preferencialmente, os sedimentos de menor diâmetro e, ou, menos densos. Além disso, a cobertura vegetal e a biomanta podem ter filtrado os sedimentos de maior diâmetro em suspensão na enxurrada, enquanto os de menor diâmetro foram transportados por ela, de acordo com Bertol et al. (1997).

A erosão do solo causada pela água condiciona o movimento de massa principalmente em encostas com elevada declividade (Carvalho, 2005). Nesse caso, alguns fatores são muito importantes, tais como a desagregabilidade, ou desestabilização, do material (solo e rochas) que compõem o maciço, a infiltração de água e o escoamento superficial. Para chuvas de mesma intensidade em uma encosta natural de mesma topografia, o aumento de valor do índice D_{50} dos sedimentos pode indicar aumento no potencial de perda de solo. O inverso pode indicar aumento no potencial de infiltração de água e de deslizamento do maciço. O D_{50} aumentou com o aumento da perda de solo durante o período de enxurrada com vazão constante sob diferentes tipos de manejo do solo (Leite et al., 2004). Caso a água atinja o material impermeável (rochoso ou não) ao infiltrar no solo, a retenção do fluido nessa zona satura o solo e pode provocar deslizamento do maciço (Carvalhais et al., 2019). O resultado disso é o aumento da tensão geostática e a redução de resistência do material ao cisalhamento, estabelecendo-se condição propícia à ruptura e movimento de massa.

7.6 SUMÁRIO INTERPRETATIVO DOS DADOS OBTIDOS NO DIA DA CHUVA SIMULADA

Com a pesquisa constatou-se que os tratamentos com cobertura vegetal ocasionaram menor perda de solo. Nos três primeiros testes de chuva, os tratamentos com cobertura vegetal mantiveram menor umidade no solo comparados aos tratamentos em solo descoberto. Assim, nos tratamentos com cobertura o início da enxurrada foi retardado e as perdas de água foram menores. Essa condição, associada à dissipação da energia de impacto das gotas de chuva no solo e ao aumento da resistência ao movimento da água na superfície, por efeito das plantas, fez com que as perdas de solo fossem muito baixas. Devido estas condições, nos tratamentos em solo coberto com geomanta e sem geossintéticos houve maior transporte de sedimentos de menor diâmetro comparados aos tratamentos em condição descoberta. Nos tratamentos com biomanta, a cobertura resultou em maior transporte de sedimentos de maior diâmetro que a condição em solo descoberto contrariando a lógica e sem explicação aparente.

A associação da cobertura vegetal com o geossintético resultou em menores perdas de água e em nenhuma distinção numérica para as perdas de solo, comparada ao tratamento com apenas cobertura vegetal. As menores perdas de água com a geomanta e biomanta possivelmente são explicadas pelo armazenamento de água nesses materiais. Nas três primeiras chuvas, os tratamentos com cobertura vegetal não diferiram entre si quanto à umidade gravimétrica do solo e ao tempo de início da enxurrada. No quarto teste, a chuva natural ocorrida no dia anterior à chuva simulada aumentou a umidade gravimétrica do solo e, desta forma, ocasionou distinção do tempo do início da enxurrada entre os tratamentos cobertos com e sem geossintéticos. Apesar de não ter havido diferença de umidade do solo entre esses tratamentos, no quarto teste o tratamento com cobertura vegetal sem geossintéticos a enxurrada iniciou antes que os demais tratamentos cobertos. Uma possível explicação pode estar relacionada novamente com a retenção de água por esses materiais. Quanto ao transporte de sedimentos, os geossintéticos em solo coberto carregaram maior quantidade de sedimentos de maior diâmetro, em comparação com o tratamento com apenas cobertura vegetal.

No solo descoberto sem geossintéticos as perdas de solo foram mais elevadas do que na condição de solo descoberto com geossintéticos. Apesar da umidade gravimétrica ter sido semelhante nos quatro testes de chuva nestes tratamentos, os geossintéticos retardaram o tempo de início da enxurrada. Estas condições, somadas com a possível retenção de água pelos geossintéticos, ocasionaram menores perdas de água e solo comparadas à ausência completa de proteção no solo. Apesar de ter tido menor velocidade de enxurrada, o tratamento em solo

descoberto e com geomanta apresentou maior transporte de sedimentos de maior diâmetro comparado ao tratamento com solo totalmente descoberto. A biomanta sem cobertura vegetal foi o tratamento que apresentou a maior quantidade de sedimentos de menor diâmetro entre todos os descobertos, de modo semelhante ao que ocorreu com o tratamento com apenas cultivo de aveia.

8 CONCLUSÕES

A porosidade total, macroporosidade e bioporosidade aumentam após a aplicação de quatro chuvas simuladas, aplicadas espaçadamente após o solo ter sido preparado, em relação ao momento anterior ao preparo do solo quando o solo se encontrava em pousio. A densidade do solo e o diâmetro médio ponderado de agregados diminuem no intervalo de tempo entre essas duas condições de avaliação. A microporosidade aumenta no tratamento geomanta combinada com cobertura vegetal de aveia e diminui nos tratamentos com cobertura vegetal e na biomanta combinada com cobertura vegetal. Nos demais tratamentos, a microporosidade ora aumenta, ora diminui. Os tratamentos com materiais geossintéticos não alteram as propriedades físicas, em solo sem e com cobertura vegetal.

A cobertura vegetal do solo com aveia diminui a umidade gravimétrica avaliada imediatamente antes de aplicar chuva simulada. Os materiais geossintéticos não influenciam numericamente a umidade gravimétrica do solo em comparação à ausência desses materiais.

Os materiais geossintéticos e a cobertura vegetal do solo com aveia aumentam o tempo para o início da enxurrada e, a associação dessas duas práticas tende a aumentar esse tempo. Em solo sem cobertura alguma, os materiais geossintéticos proporcionam diminuição da velocidade de enxurrada.

A cobertura vegetal do solo com aveia e os materiais geossintéticos diminuem as perdas de água por escoamento superficial em relação à condição de solo totalmente descoberto. A combinação da cobertura vegetal com os geossintéticos minimiza consideravelmente as perdas de água por escoamento superficial.

As perdas de solo por erosão hídrica são potencializadas em solo totalmente descoberto. Os menores valores de perda de solo ocorrem em solo coberto com aveia e na presença de materiais geossintéticos associados com aveia. Em solo com materiais geossintéticos desprovido de cobertura vegetal, as perdas de solo apresentam magnitude intermediária entre o solo totalmente descoberto e o solo com cobertura vegetal associada aos materiais geossintéticos. A biomanta é mais eficaz do que a geomanta na redução das perdas de solo.

A biomanta associada com a cobertura do solo por aveia não é muito eficaz no controle do transporte de sedimentos de maior diâmetro na enxurrada em relação ao solo descoberto com o mesmo material. A cobertura vegetal com aveia associada aos materiais geossintéticos aumenta a massa de sedimentos de maior tamanho na enxurrada em comparação a cobertura do solo com aveia apenas. Na ausência de cobertura vegetal com aveia, a geomanta permitiu maior transporte de sedimentos de maior diâmetro, comparada ao solo totalmente descoberto. A

biomanta sem cobertura vegetal é a condição mais eficaz no controle de transporte de sedimentos de maior diâmetro, dentre os tratamentos com solo descobertos

As perdas de solo estimadas para a declividade de 30% e intensidade de chuva de 100 mm h⁻¹, mantendo o comprimento de declive de 11 m, aumentam de 2 a 5,8 vezes em relação às perdas de solo observadas para o mesmo comprimento de declive.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Rotação de culturas e sistemas de manejo: efeito do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 115-119. 1995.
- ALMEIDA, W.S. de et al. Duration and intensity of rainfall events with the same erosivity change sediment yield and runoff rates. **International Soil And Water Conservation Research**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 69-75, mar. 2021. Elsevier BV.
- ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.I.], v. 22, n. 6, p.711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart.
- AMORIM, R.S.S. et al. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 124-130, abr. 2001.
- ANDRADE, A.P. et al. Physical properties of a humic cambisol under tillage and cropping systems after twelve years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 219-226, 2010.
- ATKINSON, B.S. et al. Effect of seedbed cultivation and soil macrostructure on the establishment of winter wheat (*Triticum aestivum*). **Soil And Tillage Research**, [S.L.], v. 103, n. 2, p. 291-301, maio 2009. Elsevier BV.
- CARVALHAIS, R.M. et al. Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares. **Brazilian Journal of Development**, [S.L.], v. 5, n. 7, p. 9765-9772, 2019.
- BAGARELLO, V. et al. Pampalone Estimating the USLE soil erodibility factor in Sicily, South Italy **Appl Eng Agric**, 28 (2), pp. 199–206, 2012.
- BARBOSA, F. T. **Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em diferentes tipos e doses de resíduo em duas direções de semeadura direta**. 2011. 99 p. Tese (Doutorado), Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2011.

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo.** 1995. 185 p. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

BERTOL, I. et al. Sedimentos transportados pela enxurrada relacionados à cobertura e rugosidade superficial do solo e taxa de descarga. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 3, n. 2, p. 199-206, 30 dez. 1997.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 58, n. 3, p. 555-560, set. 2001.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 155-163, fev. 2004a.

BERTOL, I. et al. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 485-494, jun. 2004b.

BERTOL, I. et al. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háptico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 245-252, fev. 2010.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p.657-668, set. 2000.

BERTOL, I.; BERTOL, C.; BARBOSA, F.T. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidráulicamente: fabricação e calibração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 36, n. 6, p. 1905-1910, dez. 2012.

BERTOL, I; CASSOL, E.A.; BARBOSA, F.T. Erosão do solo. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa: SBCS, 2019. p. 423-460.

BERTOL, I; CASSOL, E.A.; DE MARIA, I.C. Pesquisa em erosão hídrica do solo no Brasil. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa: SBCS, 2019. p. 498-525.

BERTOL, I; CASSOL, E.A.; MERTEN, G.H. Modelagem e modelos utilizados para estimar a erosão do solo. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa: SBCS, 2019. p. 461-497.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; MIQUELLUTI, D. J. Sedimentos transportados pela enxurrada relacionados à cobertura e rugosidade superficial do solo e taxa de descarga. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 3, n. 2, p. 199-206, 30 dez. 1997.

BEVEN, K.; GERMANN, P. Macropores and water flow in soils. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 18, n. 5, p. 1311-1325, out. 1982. American Geophysical Union (AGU).

BRADY, N.C.; WEIL, Ray R. **The Nature and Properties of Soils**. 13. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2002.

BRODOWSKI, Ryszard. Soil detachment caused by divided rain power from raindrop parts splashed downward on a sloping surface. **Catena**, [S.L.], v. 105, p. 52-61, jun. 2013. Elsevier BV.

CÂNDIDO, B.M. et al. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 38, n. 5, p. 1565-1575, out. 2014.

CARDOSO, C.O.; ULLMANN, M.N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da Desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 131-140, 1998.

CARVALHO, M.P. et al. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico Vermelho-amarelo eutrófico textura argilosa/ muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 237-242, 1989

CARVALHO, J.C. Mecanismos de instabilização de taludes de erosões. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4, 2005, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: COBRAE, 2005, p. 361 – 372,

CPRM. **Geodiversidade do estado de Santa Catarina**. Brasília: CPRM, 2016.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 743-753, ago. 2003.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Effect of crop residue, tillage induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 47, n. 5, p.1005-1008, 1983.

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 46, n. 10, p.1301-1309, out .2011.

COSTA, S.E.V.G. de A. et al. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 1291-1301, out. 2009.

COOK, H.L **The nature and controlling variables of the water erosion process**. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1,pp.487– 494, 1936.

DEDECEK, R.A.; RESK, D.V.S.; FREITAS JUNIOR, E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos Cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, p. 265-272, 1986.

DENARDIN, J.E; WÜNSCHE, W.A.. Erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., 1980, Recife. **Anais [...]** . Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1980.

EDWARDS, W.M.; OWENS, L.B. **Large storm effects on total soil erosion**. J. Soil Water Conserv., 46:75-78, 1991.

ELLISON, W.D. Soil wrosion studies. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 28, p.145-147, 197-201, 245-248, 297-300, 349-351, 402-405, 442-444, 1947.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa CNPS, 1997.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013.

EPAGRI. **Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2021. 20p.

FERNANDES, L.S. et al. Uso de geomantas no controle da erosão superficial hídrica em um talude em corte de estrada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 199-206, fev. 2009.

FOSTER, G.R.; MEYER, L.D. Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics. **Proc. of Sediment Yield Workshop**, Oxford, p.190-206, 1975.

FOSTER, G.R.; MEYER, L.D. Soil Erosion and sedimentation by water. **Proceedings of the National Symposium on Soil Erosion and Sediment by Water**, Chicago, p.1-13, 1977.

GRAY, D.H.; LEISER, A. T. **Biotechnical slope protection and erosion control**. Malabar: Kriger Publishing Company, 1982.

GUO, L.; LIN, H. Addressing Two Bottlenecks to Advance the Understanding of Preferential Flow in Soils. **Advances In Agronomy**, [S.L.], p. 61-117, 2018. Elsevier.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. **O Manual de deslizamento: um guia para a compreensão de deslizamentos**. Reston: U.S. Geological Survey, 2008. 129 p.

HUDSON, N.W. **Soil conservation**. 3. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995.

JACOBS, G.A. et al. Erosividade da chuva correlacionada com perdas de solo de dois Latossolos Vermelho-Escuros (textura argilosa e média): uma aproximação do fator erodibilidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p. 170-171.

JARVIS, N. J. A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality. **European Journal Of Soil Science**, [S.L.], v. 58, n. 3, p. 523-546, jun. 2007. Wiley.

KARLEN, D.L. et al. Crop Rotations for the 21st Century. **Advances In Agronomy**, [S.L.], p. 1-45, 1994. Elsevier.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**, 1965. p.449-510.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**: Relações solo-planta. São Paulo, Ceres, 1979. 262p

KINNELL, P. Modelling erosion by rain-impacted flow. **Catena Supplement**, Cremlingen, n. 17, p. 55-66, 1990.

KINNELL, P.I.A. The influence of time and other factors on soil loss produced by rain-impacted flow under artificial rainfall. *Journal Of Hydrology*, [S.L.], v. 587, p. 125004, ago. 2020. Elsevier BV.

KLINGMAN, P.C.; BRADLEY, J.B. **Willamette river basin streambank stabilization by natural means**. Portland District, Portland, OR: U.S. Army Corps of Engineers, 1976.

LEITE, D. et al. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 28, n. 6, p. 1033-1044, dez. 2004.

LIU, B.Y. et al. Slope length effects on soil loss for steep slopes. In **Sustaining the Global Farm**, 784-788. D. E. Stott, R. H. Mohtar, and G. C. Steinhardt, eds. Selected papers from the 10th Intl. Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. Washington, D.C.: USDA-ARS. 2001.

LUCIANO, R.V. et al. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 9, n. 1, p. 9-19, 2010.

LUXMOORE, R.J. et al. Physical and chemical controls of preferred path flow through a forested hillslope. **Geoderma**, [S.L.], v. 46, n. 1-3, p. 139-154, mar. 1990. Elsevier BV.

MCCOOL, D.K et al. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE*, St. Joseph, 32:1571-1576, 1989.

MARCOLAN, A.L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 163-170, fev. 2006.

MARQUES, J.J.G.S.M. et al. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados: primeira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 21, p. 427-434, 1997.

MARTINS FILHO, E.M.V.; PEREIRA, V.P. Influência da compactação do solo nas perdas por erosão e na sua erodibilidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 8, p. 39-45, 1993.

MENDES, C.A. **Erosão superficial em encosta íngreme sob cultivo perene e com pousio no município de Bom Jardim - RJ**. 2006. 227 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R.; NIKOLOV, S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. **Transactions of the Asae**, [s.l.], v. 18, n. 5, p.0905-0911, 1975. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).

MIRANDA, J.P.L. **Propriedades físico-hídricas de um solo Submetido a cultivos perenes e a pousio em Ambiente agrícola serrano – Bom Jardim (RJ)**. 2008. 135 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MIRANDA, L.P.M.; SCHIAVO, J.A. Atributos físicos em perfis de solo formados de arenitos sob diferentes coberturas vegetais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 7, 2008, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2008.

MONTENEGRO, A. et al. Erosão Hídrica e Perda de Carbono Orgânico em Diferentes Tipos de Cobertura do Solo no Semi-Árido, em Condições de Chuva Simulada. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 113-125, 2008.

MOSS, A. Effects of flow velocity variation on rain driven transportation and the role of rain impact in the movement of solids. **Soil Research**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 443, 1988. CSIRO Publishing.

ONSTAD, C.A. et al. Tilled Soil Subsidence During Repeated Wetting. **Transactions Of The Asae**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 733-736, 1984. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).

PADBHUSHAN, Rajeev et al. Effects of various organic amendments on organic carbon pools and water stable aggregates under a scented rice–potato–onion cropping system. **Paddy And Water Environment**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 481-489, 8 dez. 2015. Springer Science and Business Media LLC.

PAN, Yi et al. Laboratory Study on Erosion of Vegetated HPTRM System under High-Speed Open-Channel Flow. **Journal Of Waterway, Port, Coastal, And Ocean Engineering**, [S.L.], v. 144, n. 1, p. 1-9, jan. 2018. American Society of Civil Engineers (ASCE).

PEREIRA, A.R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. Belo Horizonte: Fapi, 2006.

PEREIRA, A.R.; COELHO, A.T. **Boletim Técnico 2: Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas**. Belo Horizonte: Fapi, 2006.

PLOEY, J. de. Experimental data on runoff generation. In: SWAIFY, S.A.; MOLDENHAUER, W.C.; LO, A. (ed.). **Soil erosion and conservation**. Ankeny: Soil Conservation Society Of America, 1985. p. 528-539.

POMIANOSKI, D.J.W. **Perdas de solo e água em sistemas agroflorestais da bracatinga (Mimosa scabrella Bentham) em diferentes declividades e manejos**. 2005. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Pós-graduação em Ciências do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

PRUSKI, F.F. et al. Infiltração da água num Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 32:77-84, 1997.

RAMOS, J.C. **Cobertura e rugosidade da superfície na proposição de indicadores de qualidade de um Cambissolo Húmico relacionados ao controle da erosão hídrica**. 2015. 200 p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.

RENARD, K.G. et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). (**Agricultural Handbook, 8**) Washington: USDA, 1997.

ROSA, J.D. **Atributos químicos e físicos de um cambissolo háplico e produtividade de videiras sob manejos de plantas de cobertura**. 2008. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Manejo do Solo, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2008.

SANCHIS, M.P.S. et al. Climate effects on soil erodibility. **Earth Surface Processes and Land forms**, 33, pp. 1082–1097, 2008.

SANTOS, M.L. et al. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 313-321, jun./set. 2006.

SCHICK, J. et al. Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, n. 6, p.1890-1905, dez. 2014a.

SCHICK, J. et al. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, n. 6, p.1906-1917, dez. 2014b.

SILVA, A.P da; KAY, B.D. Estimating the Least Limiting Water Range of Soils from Properties and Management. **Soil Science Society of America Journal**, [s.l.], v. 61, n. 3, p.877-883, mai. 1997.

SILVA, C.L.; KATO, E. Efeitos do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, p.593-597, 1997.

SIQUEIRA, J.O. et al. **Microrganismo e processos biológicos do solo**. Brasília: Embrapa, 1994.

SOUZA, Z.M. de et al. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 40, n. 3, p. 271-278, mar. 2005.

SWANSON, N.P. A rotating-boom rainfall simulator. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, 26: 1738-1743. 1965.

RISSE, L.M. et al. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Journal**, 57, 825–833. 1993

TORRES, J.L.R. **Estudo das plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no cerrado, na região de Uberaba-MG**. 2003. 125 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

TORRES, J.L.R. et al. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 39, n. 2, p. 428-437, abr. 2015.

VERAS, A.T. de R. et al (org.). **Planejamento ambiental, recursos hídricos e patrimônio cultural: TOMO III**. Boa Vista: UFRR, 2020.

VERTEMATTI, J.C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

VOLL, E. et al. Dinâmica do banco de sementes de plantas daninhas sob diferentes sistemas de manejo de solo. **Planta Daninha**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 171-178, ago. 2001.

WANG, B. et al. Impact of rainfall pattern on interrill erosion process. **Earth Surface Processes And Landforms**, [S.L.], v. 42, n. 12, p. 1833-1846, 5 abr. 2017.

WATANABE, K.; KUGISAKI, Y.. Effect of macropores on soil freezing and thawing with infiltration. **Hydrological Processes**, [S.L.], v. 31, n. 2, p. 270-278, 19 out. 2016. Wiley.

WISCHMEIER, W.H. Storms and soil conservation. **Journal Of Soil And Water Conservation, Ankeny**, v. 17, n. 2, p.55-59, 1962.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, USDA, 58p. (**Agriculture Handbook**, 537). 1978.

WOLSCHICK, N.H. **Desempenho de plantas de cobertura e influência nos atributos do solo e na produtividade de culturas em sucessão**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of America Society of Agronomy**, v.28, p.337-357, 1936.

ZINGG, A. W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. **Agricultural Engineering**, v. 21, p. 59–64, 1940.

APÊNDICE A - VITA

Filipe Antonio Wroblewski, filho de Rui Wroblewski (in memoriam) e de Vilda Terezinha dos Santos Wroblewski, nasceu em 13 de outubro de 1986, em Lages, Santa Catarina. Os estudos do ensino fundamental foram realizados na Escola de Educação Básica Professor Djalma Bento de Rio Rufino, SC, onde os concluiu em 2000. O ensino médio foi cursado no Instituto São João Batista Vianei de Lages, SC, o qual foi concluído em 2003. Em 2004 iniciou o Curso de Engenharia Química, na Universidade Regional de Blumenau, em Blumenau, SC, realizando posteriormente transferência interna para o curso de Engenharia Civil, onde recebeu o grau de Engenheiro Civil em 2009. De 2010 a 2012 trabalhou como orçamentista na empresa Sul Brasil Engenharia de Blumenau, SC, projetista na empresa Visão Projetos e Construções de Blumenau, SC, e fiscal de obras na Prefeitura de São José, SC. Em 2010, iniciou o Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho na Universidade do Planalto Catarinense, em Lages, SC, onde recebeu o grau de Engenheiro de Segurança do Trabalho em 2012. Neste mesmo ano, aprovado em concurso público, foi contratado pela Prefeitura de Lages, SC, como engenheiro civil. Em 2016, iniciou o Curso de Mestrado em Ciências Ambientais na Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, SC, onde recebeu o grau de Mestre em 2018. Tendo sido aceito para o curso de Doutorado em Ciência do Solo pela Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, SC, em 2018. Em 2020 iniciou o Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, SC. Com Alexandra Aparecida Lima teve uma filha, Mariana, nascida em 01 de junho de 2004, Lages, SC. De 2014 a 2022 teve união estável e foi casado com Josiane Bento da Silva e tiveram uma filha, Iasmin, nascida em 12 de abril de 2016. No ano de 2022 passou a ter união estável com Débora Almeida de Sousa sendo padrasto de Bianca, nascida em 26 de janeiro de 2021.