

VITÓRIA FENILLI VIDALETTI

IMPACTO DA COBERTURA DO SOLO, DECLIVIDADE E
PRECIPITAÇÃO NA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E
ESCOAMENTO DE ÁGUA E SEDIMENTOS

CASCABEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2022

VITÓRIA FENILLI VIDALETTI

IMPACTO DA COBERTURA DO SOLO, DECLIVIDADE E
PRECIPITAÇÃO NA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E
ESCOAMENTO DE ÁGUA E SEDIMENTOS

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.
Orientadora: Dra. Araceli Ciotti de Marins

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2022

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Fenilli Vidaletti, Vitória

Impacto da cobertura do solo, declividade e precipitação na infiltração de água no solo e escoamento de água e sedimentos / Vitória Fenilli Vidaletti; orientadora Araceli Ciotti de Marins. -- Cascavel, 2022.

95 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2022.

1. Manejo do solo. 2. Porosidade. 3. Produtividade. I. Ciotti de Marins, Araceli, orient. II. Título.

VITÓRIA FENILLI VIDALETTI

Impacto da cobertura do solo, declividade e precipitação na infiltração de água no solo e escoamento de água e sedimentos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e Culturas Energéticas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Araceli Ciotti de Marins
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Douglas Bassegio
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Daniela Trentin Nava
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus de Toledo (UTFPR)

Cascavel, 14 de março de 2022

“Dedico aos meus pais que sempre me apoiaram nessa caminhada”.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, por me conceder saúde e força para superar todas as dificuldades.

À minha família por sempre incentivarem meus estudos, me apoiarem e serem meu abrigo nos momentos de fraqueza.

À minha orientadora, Profa. Dra. Araceli Ciotti de Marins, pelos ensinamentos e companheirismo nessa trajetória. Pela atenção, incentivo, carinho e dedicação. Por me auxiliar na realização desse sonho.

Aos Profs. Drs. Deonir Secco e Rogério Rizzi pela oportunidade de trabalho em conjunto e pelo conhecimento compartilhado.

Ao meu amigo e colega Pablo Chang pelo apoio, auxílio e companheirismo.

Aos professores membros da banca examinadora, o agradecimento pela consideração em avaliar meu trabalho, pela sua atenção e ensejo de aprimoramento da pesquisa.

À Equipe LAFIS pelo apoio e principalmente pela amizade.

À Capes pela concessão de bolsa de estudos.

Aos funcionários e professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, pela paciência e pelo conhecimento partilhado.

A todos aqueles que, mesmo não citados aqui, foram de grande ajuda para a elaboração deste trabalho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela ANOVA (corrigida pela média)	17
Tabela 2: Tabela da falta de ajuste da regressão	18
Tabela 3: Média da densidade do solo referente as coletas de dois anos	23
Tabela 4: Delineamento experimental do planejamento fatorial	25
Tabela 5: Estatística descritiva da infiltração	27
Tabela 6: Análise de variância (ANOVA)	33
Tabela 7: Coeficientes do modelo de regressão múltipla da infiltração	34
Tabela 8: Teste da falta de ajuste	34
Tabela 9: Estatística descritiva das perdas de água	48
Tabela 10: Teste de Tukey do Planejamento Fatorial da perda de água	52
Tabela 11: Análise de variância (ANOVA) das perdas de água	54
Tabela 12: Coeficientes do modelo de regressão múltipla das perdas de água	54
Tabela 13: Teste da falta de ajuste	55
Tabela 14: Análise de variância (ANOVA) das perdas de água com duas variáveis	55
Tabela 15: Coeficientes do modelo de regressão múltipla das perdas de água com duas variáveis	56
Tabela 16: Teste da falta de ajuste com duas variáveis	56
Tabela 17: Estatística descritiva das perdas de solo	57
Tabela 18: Teste de Tukey do Planejamento Fatorial da perda de solo	61
Tabela 19: Análise de variância (ANOVA) das perdas de solo com transformação logarítmica	62
Tabela 20: Coeficientes do modelo de regressão múltipla das perdas de solo	63
Tabela 21: Teste da falta de ajuste com transformação logarítmica	64
Tabela 22: Análise de variância (ANOVA) das perdas de solo com duas variáveis	64
Tabela 23: Coeficientes do modelo de regressão múltipla das perdas de solo com duas variáveis	65
Tabela 24: Teste da falta de ajuste com duas variáveis	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Laboratório de Física do Solo da UNIOESTE.	20
Figura 2: Simulador de chuva.....	21
Figura 3: Datalogger.....	22
Figura 4: Boxplot da infiltração.	28
Figura 5: Boxplot da taxa de infiltração em função da palha, declividade e taxa de precipitação.	30
Figura 6: Matriz da Correlação Linear de Pearson, todos os valores significativos a 1% (***).....	31
Figura 7: Comparação da relação declividade x infiltração nas intensidades de chuva.	32
Figura 8: Análise dos resíduos da regressão linear múltipla.	33
Figura 9: PCA das perdas de solo e água.....	47
Figura 10: Boxplot das perdas de água.....	49
Figura 11: Boxplot das perdas de água em função da palha, declividade e precipitação.	51
Figura 12: Matriz da Correlação Linear de Pearson.....	52
Figura 13: Análise dos resíduos da regressão linear múltipla.	53
Figura 14: Gráfico 3D da intensidade e declividade <i>versus</i> perda de água.....	56
Figura 15: Boxplot das perdas de solo.	58
Figura 16: Boxplot das perdas de solo em função da palha, declividade e precipitação.	59
Figura 17: Matriz da Correlação Linear de Pearson.....	60
Figura 18: Análise de resíduos da regressão múltipla.....	62
Figura 19: Gráfico 3D da intensidade e declividade <i>versus</i> perda de solo.....	65

VIDALETTI, Vitória Fenilli, Ma. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Março de 2022. **Impacto da cobertura do solo, declividade e precipitação na infiltração e escoamento de água e sedimentos.** Orientadora: Dra. Araceli Ciotti de Marins.

RESUMO

O entendimento dos processos de infiltração e escoamento superficial e das suas relações com as propriedades do solo é fundamental para o eficiente manejo do solo e da água. Sistemas de manejo influenciam significativamente na infiltração de água no solo, tendo efeito direto sobre o desencadeamento dos processos erosivos, as quais influenciam na conservação do solo e da água. A modelagem matemática e estatística é uma ferramenta que pode estimar a infiltração e as consequentes perdas de solo e água. A dissertação foi dividida em dois capítulos. O Capítulo 1 tem por finalidade simular em condições de laboratório o efeito da declividade, da intensidade da chuva e da quantidade da palha sobre a taxa de infiltração e estabelecer um modelo que descreva esse comportamento por meio de Regressão Múltipla. O Capítulo 2 tem por finalidade simular os mesmos eventos sobre as perdas de solo e água. Para isso, utilizou-se a Análise de Componentes Principais para denotar a influência dessas variáveis no processo e assim, por meio da Regressão Múltipla estabelecer um modelo que descreva tal evento. O experimento em esquema fatorial 3x3x3 (3, 8 e 20% de declividade, 0, 5, 10 Mg ha⁻¹ de cobertura do solo, 38,60; 62,40 e 74,48 mm h⁻¹ de intensidade da chuva) buscou avaliar como essas alterações influenciam no processo de infiltração da água e consequentemente nas perdas de água e solo. Os dados foram analisados estatisticamente com auxílio do Software R Studio para formular os modelos que descrevam o comportamento da infiltração e perda de água e solo. A quantidade de palha teve maior influência sobre a taxa de infiltração, comparada à precipitação e declividade do terreno, ao passo que a precipitação teve menor influência. O modelo ajustado apresentou boa qualidade, chegando a explicar 97% da variabilidade se ajustando com exatidão aos dados analisados ao nível de 5% significância. A precipitação teve maior influência sobre as perdas de água, comparada a outros fatores analisados, ao passo que a declividade teve menor influência. O modelo ajustado conseguiu explicar 99% da variabilidade dos dados, com todos os coeficientes significativos a 5%. A quantidade de palha sobre a superfície teve maior influência sobre as perdas de solo, comparada a outros fatores analisados. O modelo ajustado apresenta boa qualidade, chegando a explicar 91% da variabilidade dos dados.

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo do solo; porosidade; produtividade.

VIDALETTI, Vitória Fenilli, Ma. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. March 2022. **Impact of soil coverage, slopes and precipitation on the infiltration and drainage of water and sediments.** Advisor: Dra. Araceli Ciotti de Marins.

ABSTRACT

The understanding of infiltration and surface runoff processes and their relationships with soil properties is essential for efficient soil and water management. Management systems significantly influence the infiltration of water into the soil, having a direct effect on the triggering of erosive processes, which influence soil and water conservation. Mathematical and statistical modeling is a tool that can estimate infiltration and consequent soil and water losses. The dissertation was divided into two chapters. Chapter 1 aims to simulate under laboratory conditions the effect of slope, rainfall intensity and straw quantity on the infiltration rate and establish a model that describes this behavior through Multiple Regression. Chapter 2 aims to simulate the same events on soil and water losses. For this, Principal Component Analysis was used to denote the influence of these variables in the process and thus, through Multiple Regression, establish a model that describes such an event. The experiment in a 3x3x3 factorial scheme (3, 8 and 20% of slope, 0, 5, 10 Mg ha⁻¹ of ground cover, 38.60, 62.40 and 74.48 mm h⁻¹ of rainfall intensity) sought to assess how these changes influence the water infiltration process and, consequently, water and soil losses. The data were statistically analyzed with the aid of the R Studio Software to formulate models that describe the behavior of infiltration and loss of water and soil. The amount of straw had a greater influence on the infiltration rate, compared to precipitation and terrain slope, while precipitation had less influence. The adjusted model presented good quality, explaining 97% of the variability, adjusting itself accurately to the analyzed data at a 5% significance level. Precipitation had a greater influence on water losses, compared to other factors analyzed, while slope had a lesser influence. The fitted model was able to explain 99% of the data variability, with all coefficients significant at 5%. The amount of straw on the surface had a greater influence on soil losses, compared to other factors analyzed. The adjusted model has good quality, explaining 91% of the data variability.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

KEYWORDS: Soil Management; porosity; fertility.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo Geral	3
1.1.2. Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO 1	4
RESUMO	4
ABSTRACT	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1. Infiltração de água no solo	8
2.2. Métodos de medição da infiltração.....	9
2.3. Infiltração em Latossolo	10
2.4. Declividade e diferentes coberturas vegetais.....	12
2.5. Modelagem estatística da infiltração de água no solo.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Localização do experimento	20
3.2. Simulador de chuva	20
3.3. Coleta e preparação do solo e palha	23
3.4. Declividade e precipitação	24
3.5. Caracterização dos tratamentos	24
3.6. Coleta dos dados da variável resposta	25
3.7. Análise estatística	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5. CONCLUSÕES	35
CAPÍTULO 2	36
RESUMO	36

ABSTRACT.....	37
1. INTRODUÇÃO	38
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	40
2.1. Perdas de água, solo e nutrientes por erosão	40
2.2. Modelagem estatística das perdas de solo e água	42
3. MATERIAL E MÉTODOS	46
3.1. Coleta dos dados da variável resposta	46
3.2. Análise estatística	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1. Perda de água.....	48
4.2. Perda de solo	57
5. CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1. INTRODUÇÃO GERAL

A qualidade física do solo é um importante elemento para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, já que as propriedades físicas e os processos de formação do solo estão envolvidos no suporte ao crescimento radicular, armazenagem e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica.

Devido à crescente necessidade de suprir a demanda de alimentos, o uso intensivo do solo e seu manejo inadequado vêm causando uma degradação acelerada modificando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SOUZA et al., 2020).

A infiltração de água de solo, importante componente do ciclo hidrológico, é fundamental para a determinação do escoamento superficial e suas consequências, a exemplo da erosão hídrica, que é a perda da água que não infiltra, nem fica armazenada de forma permanente ou temporária (NERY et al., 2017).

A complexidade do processo de infiltração está correlacionada a alguns fatores, tais como umidade, porosidade, cobertura, condições topográficas do solo, dentre outros. Nascimento et al. (2020), definem a infiltração como um dos principais componentes do ciclo hidrológico por se tratar do veículo de reposição da umidade bem como do reabastecimento do lençol freático, já que a infiltração adequada de água no solo representa um baixo nível de escoamento superficial e, conseqüentemente, de erosão.

Dentre as formas utilizadas para determinar a infiltração, alguns autores destacam os simuladores de chuva, os permeômetros e os infiltrômetros (POTT; DE MARIA, 2003; SIMÕES; FIGUEIREDO; SILVA, 2005; MENDES et al., 2020).

Para determinar a infiltração é fundamental compreender a permeabilidade da água no solo, por ser uma das características mais sensíveis para detectar alterações no sistema de cultivo e manejo do solo (FLASH; ALVES; MEURER, 2020). A infiltração da água é influenciada pelas condições de superfície do solo e pelos atributos relacionados com a estruturação do solo, como a distribuição de poros, densidade e textura (MARTINS; SANTOS, 2017).

Furquim et al. (2020), evidenciaram que a textura e a estrutura são propriedades determinantes na movimentação de água no perfil do solo, uma vez que determinam a quantidade e disposição dos poros. Fatores relacionados ao relevo

(declividade) afetam a dinâmica da infiltração já que áreas planas tendem a absorver a maior parte da água, e áreas inclinadas tendem a propiciar maior escoamento superficial da água e baixas taxas de infiltração (GARCIA et al., 2020).

A intensidade e disponibilidade de chuva também influenciam na infiltração, pois quanto maior a disponibilidade de chuvas, maior a intensidade da precipitação, mais rapidamente o solo atingirá a condição saturada e passará a conduzir água em profundidade, fenômeno denominado condutividade hidráulica do solo (DE MORAIS, 2012). A partir do momento em que o solo atinge sua capacidade de campo inicia-se o processo de escoamento (VIEIRA; ALMEIDA; ALBUQUERQUE, 2020).

Quando ocorre o escoamento superficial da água no solo, ocorre também o arraste de nutrientes. A água e nutrientes perdidos pelo escoamento não ficam mais disponíveis para as plantas, e além disso, podem causar o processo de erosão e também assorear rios (OLVEIRA; SILVA; NETO, 2020)

Um dos métodos eficazes para se evitar o processo de escoamento é garantir a presença de restos culturais. A cobertura vegetal contribui para aumentar a rugosidade do terreno e impedir a desagregação das partículas pelo contato direto com as gotas de chuvas (KLEIN; KLEIN, 2015), além disso, o incremento de matéria orgânica e o sistema radicular contribuem para a melhoria de atributos físicos relacionados à infiltração de água e à agregação, e, conseqüentemente, contribuem para a redução da erodibilidade do solo (CÂNDIDO et al., 2014).

Desta forma, o uso de plantas de cobertura reduz os danos causados pela ação erosiva das gotas de chuva, além de proporcionar aumento da umidade, redução do escoamento, erosão hídrica, aumenta da infiltração de água e controle da temperatura do solo (JORDÁN et al., 2010; MONTENEGRO et al., 2013)

Assim, busca-se utilizar um simulador de chuva para realizar alterações propositais na intensidade da chuva, na declividade do terreno e disponibilidade de palha sobre o solo e assim, poder avaliar seu efeito combinado sobre a taxa de infiltração de água e perdas de água e solo por escoamento superficial, além de estabelecer um modelo de regressão múltipla que relacione a infiltração de água com as variáveis mencionadas, utilizar a análise de componentes principais para avaliar quais das variáveis possuem maior influência nas perdas de solo e água por escoamento e definir um modelo que as relacionem.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar o efeito da intensidade da chuva, da declividade e da cobertura do solo, na taxa de infiltração de água e perdas de água e solo por escoamento superficial, por meio do instrumento simulador de chuva.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Simular diferentes intensidades de chuvas;
- Aplicar diferentes inclinações do terreno;
- Utilizar diferentes quantidades de palha de espécies energéticas, como soja em lavouras sob sistema plantio direto para a simulação;
- Avaliar a taxa de infiltração do solo submetido à chuva simulada, com as devidas alterações na inclinação e na quantidade de palha;
- Estabelecer um modelo de regressão linear múltipla que relacione a infiltração com essas variáveis;
- Avaliar as perdas de solo e água por escoamento superficial com as mesmas alterações;
- Utilizar o método de componentes principais, para determinar quais das variáveis em estudo mais influenciam nas perdas de solo e água;
- Estabelecer um modelo de regressão linear múltipla que relacione as perdas com essas variáveis.

CAPÍTULO 1

VIDALETTI, Vitória Fenilli, Ma. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Março de 2022. **Impacto da cobertura do solo, declividade e precipitação na infiltração**. Orientadora: Dra. Araceli Ciotti de Marins.

RESUMO

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para o uso e manejo apropriado do solo, além de auxiliar no planejamento de técnicas de irrigação e drenagem. A modelagem surge como uma ferramenta capaz de antecipar acontecimentos e apontar alternativas que conduzam a manutenção produtiva do ambiente. Uma forma rápida para obtenção de dados, é pelo uso de chuva simulada que proporciona simulações em condições que nem sempre podem ser representadas em campo. Desse modo, este capítulo tem por finalidade simular em condições de laboratório o efeito da precipitação, da declividade e da quantidade da palha sobre a taxa de infiltração de água no solo por meio de um simulador de chuva e desenvolver um modelo de predição da infiltração. Os dados foram analisados estatisticamente por meio Regressão Múltipla e, com auxílio do Software R Studio formulou-se o modelo que descreveu a relação dessas variáveis com a infiltração de água no solo. A quantidade de palha teve maior influência sobre a taxa de infiltração, comparada a outros fatores analisados, ao passo que a precipitação teve menor influência. De modo que se a quantidade de palha for garantida, mesmo com grandes intensidades de chuva, a infiltração de água no solo ocorrerá de forma satisfatória. O modelo ajustado conseguiu explicar 97% da variabilidade dos dados, com todos os coeficientes significativos a 5%.

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

PALAVRAS-CHAVE: Escoamento superficial; modelagem; produtividade.

VIDALETTI, Vitória Fenilli, Ma. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. March 2022. **Impact of land cover, slope and precipitation on infiltration.** Advisor: Dra. Araceli Ciotti de Marins.

ABSTRACT

Knowledge of the rate of infiltration of water in the soil is of fundamental importance for the proper use and management of the soil, in addition to assisting in the planning of irrigation and drainage techniques. Modeling emerges as a tool capable of anticipating events and pointing out alternatives that lead to the productive maintenance of the environment. A quick way to obtain data is through the use of simulated rainfall, which provides simulations in conditions that cannot always be represented in the field. Thus, this chapter aims to simulate under laboratory conditions the effect of precipitation, slope and the amount of straw on the infiltration rate of water in the soil by means of a rainfall simulator and to develop an infiltration prediction model. The data were statistically analyzed using Multiple Regression and, with the help of the R Studio Software, the model was formulated that described the relationship of these variables with the infiltration of water in the soil. The amount of straw had a greater influence on the infiltration rate, compared to other factors analyzed, while precipitation had a lesser influence. So that if the amount of straw is guaranteed, even with great intensities of rain, the infiltration of water in the soil will occur satisfactorily. The fitted model was able to explain 97% of the data variability, with all significant coefficients at 5%

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

KEYWORDS: Runoff; modeling; fertility.

1. INTRODUÇÃO

A infiltração de água no solo, que pode ser definida como a passagem da água por ele, é garantida pela boa qualidade estrutural do mesmo. Desse modo, uma estrutura preservada garante que ocorra o processo de infiltração de água de forma com que a água fique armazenada para as plantas por mais tempo, assim evitam-se problemas futuros relativos à irrigação e drenagem e conservação da água e do solo e também do crescimento da vegetação, abastecimento dos aquíferos, armazenamento da água que mantém o fluxo nos rios durante as estiagens. Além disso, a infiltração garante que a água não se perca por escoamento superficial e não seja necessário se trabalhar com processos de irrigação (FURQUIM et al., 2020).

Quando a infiltração ocorre de forma adequada, o abastecimento das recargas subterrâneas é garantido. Desta forma, conhecer os fatores que influenciam na infiltração é importante para garantir que a mesma ocorra corretamente. De acordo com Júnior, Castro e Santos (2020), fatores tais como densidade e a macroporosidade determinam ou influenciam a infiltração de água no solo. Bertol et al. (2015), também relatam a influência do tipo de solo, assim como as condições de uso e manejo que causam mudanças em sua superfície.

Cunha et al. (2015), afirmam a necessidade de melhorar a eficiência da infiltração de água para o desenvolvimento de projetos agrícolas de irrigação, drenagem e conservação de solo e água. Além disso, a partir de estudos sobre a infiltração é possível estimar o volume total de água que ficará disponível para o desenvolvimento das plantas (ZHAO et al., 2018). Dito isso, o uso de modelos matemáticos é fundamental para planejamento e gestão da água potável na agricultura.

Os modelos são as principais fontes de informação para as estratégias de uso da terra e água na agricultura, sobretudo para evitar os efeitos nocivos da erosão hídrica e conseqüentemente garantir a infiltração adequada de água no solo (MELLO et al., 2016).

Dentre os métodos utilizados para medir a infiltração destacam-se os permeâmetros, infiltrômetro de aspersão, infiltrômetro de tensão, infiltrômetro de pressão e simuladores de chuva (JÚNIOR et al., 2020; ORTIZ et al., 2020; MENDES et al., 2020). O uso de simuladores de chuva é indispensável em estudos de infiltração

e/ou erosão hídrica (BERTOL; BERTOL; BARBOSA, 2012). São equipamentos que possuem capacidade de simular condições de velocidade de distribuição e impacto das gotas de chuva, de intensidade de precipitação, de duração de chuvas intensas e de ângulo de impacto das gotas (BRANDÃO et al., 2006).

Deste modo, por meio de um simulador de chuva objetiva-se neste capítulo realizar alterações propositais na intensidade de chuva, na declividade do terreno e disponibilidade de palha sobre o solo e avaliar seu efeito combinado sobre a taxa de infiltração de água, além de estabelecer um modelo de regressão múltipla que relacione a infiltração com as variáveis mencionadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Infiltração de água no solo

Infiltração é o processo pelo qual a água penetra no perfil do solo (JUNIOR; STINGELIN; BARROS, 2019). Além da quantidade de água que entra no solo, controla também o avanço que ela tem sobre o mesmo.

Considerada um dos componentes do ciclo da água, é a base para determinar o escoamento superficial e suas consequências, dentre elas a erosão hídrica, que se refere à perda de água não infiltrada (MENDES et al., 2020).

A infiltração é de grande importância prática, pois afeta diretamente o escoamento superficial, visto que ela pode ser influenciada por alguns fatores como as condições da superfície, do perfil, do conteúdo inicial de água no solo, sazonalidade das chuvas, cobertura vegetal, topografia do terreno, pelas propriedades físicas do solo (SANTOS et al., 2014; SHAH; JAIN; GANDHI, 2015; DE LIMA et al., 2020; DEL CARLO et al., 2020).

A capacidade de infiltração é a razão máxima de absorção do solo, que depende do gradiente de energia da água e da condutividade hidráulica e ambos dependem da intensidade da chuva (SILVA et al., 2019). Moreira et al. (2017), descrevem sua velocidade como fluxo que se desloca da superfície até o interior do solo.

Silva et al. (2020) e Jesus et al. (2020), observaram taxas iniciais de infiltração superiores em solos com menores taxas de umidade visto que, chuvas com intensidade maior que a taxa de infiltração causam alterações na superfície do solo, o que desencadeia o processo de escoamento superficial, com impacto significativo na erosão do solo (ZHAO et al., 2018). O relevo também afeta essa dinâmica em virtude de que as áreas planas tendem a absorver a maior parte da água, enquanto as áreas inclinadas tendem a favorecer o escoamento e baixa permeabilidade (MENDES et al., 2020). Em contrapartida, sabe-se que a presença de restos culturais e a cobertura vegetal pode evitar o processo de escoamento (KLEIN; KLEIN, 2014). Sendo assim, devido à maior rugosidade da superfície e menor escoamento, a rotação de culturas aumenta a capacidade da água de entrar no perfil (MANCUSO et al., 2014). Portanto, preconiza-se a adoção do Sistema Plantio Direto (SPD).

Ao se utilizar o SPD, objetiva-se a conservação do solo, com foco na sua máxima produção. O SPD juntamente com as práticas complementares de conservação de solo (terraceamento, cultivo em nível, rotação de culturas) evita a formação de crostas superficiais, aumenta o tempo de infiltração, diminui a erosão, a produção de sedimentos e conseqüentemente a perda de água, solo e nutrientes, devido ao fato de promover a estabilização dos agregados pelo aumento da matéria orgânica e rugosidade da superfície (KAHLON; LAL; ANN-VARUGHESE, 2013; REICHERT et al., 2016; SALOMÃO et al., 2020; VIEIRA et al., 2021).

Contudo, quando o solo é exposto a compactação devido ao elevado uso de maquinário agrícola vinculado a ausência de práticas de manejo adequadas como a rotação de culturas, ocorre um decréscimo na taxa de infiltração básica (MACHADO et al., 2017). Tais informações requerem conseqüentemente, estudos detalhados sobre a variabilidade do solo. Ramos et al. (2020), salientam que a elevada variabilidade das suas propriedades físicas, como o conteúdo de areia, argila e silte e a densidade resultam em alta variabilidade nas características de retenção de água.

2.2. Métodos de medição da infiltração

Para análise da infiltração de água no solo podem ser utilizados, dentre outros métodos os infiltrômetros. Os principais métodos apontados por Pott e De Maria (2003), são os infiltrômetros de aspersão, os permeômetros, os infiltrômetros de tensão ou permeômetros de disco e os infiltrômetros de pressão.

Outro método de avaliar a infiltração de água é utilizando os simuladores de chuva. Segundo De Carvalho et al. (2012), o simulador de chuva apresenta diversas vantagens como obtenção mais rápida de resultados, padronização de chuvas, controle de preparação das parcelas, duração, intensidade e repetitividade das chuvas em tempo e espaço. A chuva artificial produzida com simuladores de chuva é uma alternativa adequada para obtenção de dados de erosão hídrica, visto que procura deduzir matematicamente o fenômeno da erosão da superfície do solo para descrever seu comportamento (FAWZY; BASHA; BOTROSS, 2020).

Simuladores são equipamentos nos quais a água é aplicada por aspersão, com intensidade de precipitação superior à capacidade de infiltração do solo (ORTIZ et al., 2020) se assim for do interesse do pesquisador. O objetivo destes testes, portanto, é

coletar a lâmina de escoamento superficial originada pela aplicação da chuva com intensidade superior a capacidade de infiltração do solo. Para isso, a aplicação de água é realizada sobre a área delimitada com chapas metálicas tendo, em um dos seus lados, uma abertura a fim de ser possível a coleta da água proveniente do escoamento superficial. A taxa de infiltração é obtida pela diferença entre a intensidade de precipitação e a taxa de escoamento resultante (JUNIOR; CASTRO; SANTOS, 2020) ou pelo uso de medidores como infiltrômetros acoplados ao simulador.

Com o uso do simulador de chuva é possível controlar tanto a intensidade quanto a duração da chuva, dessa forma pode-se controlar a quantidade de água que entra no sistema. Uma parte dessa água infiltra no solo, outra parte se perde por evapotranspiração e o restante sai do sistema por meio do escoamento superficial. Como a medição ocorrerá rapidamente, a perda de água por evapotranspiração pode ser desconsiderada, dessa forma sabe-se a quantidade de água que entrou no sistema e a quantidade de água que se perdeu por escoamento superficial. O que não saiu, presume-se que infiltrou no solo, assim, obtém-se a medida real da quantidade de água escoada e infiltrada (BERTOL; BERTOL; BARBOSA, 2012; SPOHR et al., 2015).

2.3. Infiltração em Latossolo

Bem estruturados fisicamente, os Latossolos possuem na fração argila, diferentes proporções de caulinita, óxidos de alumínio e óxidos de ferro (FILIZOLA; LUIZ, 2018). São solos evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo (NETO et al., 2020).

São altamente intemperizados, representados normalmente por sua baixa capacidade de troca de cátions (COSTA et al., 2019). Sua textura varia de média a muito argilosa, geralmente bem profundos e com pequena diferença de quantidade de argila de um perfil para o outro (CARAMINAN; FRUET; GASPARETTO, 2021).

Para Lima, Lima e Melo (2012), Latossolos são a principal classe de solo encontrada no Paraná, sendo distribuída em 31% do território estadual. Em geral, são solos com grandes problemas de fertilidade com pequena quantidade de nutrientes para as plantas (LONDERO et al., 2020).

Na região sul do Brasil, solos da classe de Latossolos são suscetíveis a compactação (ROSSETI; CENTURION, 2017; MAZURANA et al., 2017). Destaca-se o Latossolo Vermelho Distroférico, com alto potencial de compactação além de um perfil mais homogêneo, textura argilosa a muito argilosa agregada a um relevo plano suavemente ondulada, portanto, com elevada aptidão para cultivos intensivos (SILVA; CASTRO, 2015; PINTO; CHAGAS; AMARAL, 2018).

De acordo com Bonini et al. (2011), nos Latossolos, em condições normais a infiltração de água é geralmente elevada, porém, pode ser diminuída quando ocorrem camadas compactadas em função da redução da macroporosidade. Deste modo, a taxa de infiltração é dependente da porosidade do solo, que podem variar de acordo com sua classe.

Drescher et al. (2016), avaliaram a taxa de infiltração de água em um Latossolo Vermelho Distrófico típico e observaram que a última leitura da taxa de infiltração foi considerada estável duas horas após o início do ensaio. Além disso, notaram um decréscimo de cerca de 600 mm h^{-1} , para menos de 100 mm h^{-1} na taxa de infiltração em área analisada imediatamente após a escarificação.

Menezes et al. (2018), analisaram a taxa de infiltração em Latossolo Vermelho Distroférico de declividade média de 5% por meio de um infiltrômetro de aspersão calibrado com intensidade de 100 mm h^{-1} . Definiram uma rampa de escoamento de três seguimentos (terço alto, terço médio e terço baixo) e duas coberturas do solo (palha de milho e solo exposto). Encontraram valores de infiltração de $65,8 \text{ mm h}^{-1}$ para terço alto sem cobertura, $66,8$ e $64,3 \text{ mm h}^{-1}$ para terço médio com cobertura, $62,9 \text{ mm h}^{-1}$ para terço baixo com cobertura, $56,8 \text{ mm h}^{-1}$ terço sem cobertura e $100,0 \text{ mm h}^{-1}$ para mata.

Visto a importância de se quantificar a infiltração de água no solo, busca-se ferramentas para alcançar esse objetivo. De acordo com Cecílio et al. (2013), a modelagem da infiltração de água no solo, incluindo sua variabilidade, a intensidade da chuva ao longo do evento permite melhorar a estimativa do escoamento superficial e da infiltração medidos em ambientes controlados.

2.4. Declividade e diferentes coberturas vegetais

Para manter a sustentabilidade do sistema produtivo, são necessárias técnicas que mantenham adequadas a fertilidade do solo e que minimizem impactos sob os recursos naturais (PORTUGAL et al., 2017).

Os Latossolos em geral, são solos com maior capacidade de infiltração e estão associados a uma declividade média menor (OLIVEIRA; SILVA; MELLO, 2020). Brizzi, Souza e Costa (2018) apontaram alterações na paisagem do alto curso da bacia do rio Macaé, onde o avanço das áreas agropastoris e loteamentos, associadas as altas declividades, alteram as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos e favorecem o desenvolvimento de ravinas e voçorocas nas encostas.

Cogo, Levien e Schwarz (2003), ao trabalharem com perda de solo em diferentes declividades, constataram que nas declividades mais altas, as diferenças nas perdas entre os preparos cresceram consideravelmente. Porém, com efeito mais pronunciado no preparo convencional, intermediário no preparo reduzido e menor na semeadura direta, ressalva-se a importância dos resíduos culturais e o não revolvimento do solo para redução dessas perdas.

Além disso, a palhada presente na superfície possui um ótimo benefício às culturas semeadas em sucessão, permitindo melhorias na estrutura do solo, isto é, diminuição da compactação (COSTA; RODRIGUES, 2015), recuperação ou manutenção de sua qualidade e estabilização da produtividade (HERRADA; LEANDRO; FERREIRA, 2017).

A cobertura vegetal exerce importante papel na cobertura do solo, ao reduzir o impacto das gotas da chuva (CÂNDIDO et al., 2014), além disso, o incremento de matéria orgânica e o sistema radicular contribuem para a melhoria dos atributos físicos, relacionados à infiltração de água e à agregação, e, conseqüentemente, contribuem para a redução da erodibilidade (ZOTARELLI et al., 2012)

A palhada do milho, por exemplo, apresenta relação C/N superior as leguminosas e possui uma velocidade de decomposição mais lenta, então protege a superfície do solo por mais tempo contra a erosão hídrica causada pelo impacto das gotas de chuva (SILVA et al., 2017).

Sendo que com o passar dos anos, a densidade do solo (Ds) sob sistema plantio direto (SPD) pode diminuir parcialmente, em consequência do aumento no teor

de matéria orgânica na camada superficial, melhorando a estrutura do solo (COSTA et al., 2015).

Dechen et al. (2015) apresentaram resultados em suas pesquisas, que quanto maior a cobertura, menores foram as perdas de água, solo e nutrientes. Miguel et al. (2014) também observaram uma taxa menor de perdas em solos cobertos.

Desta forma a rotação de culturas com plantas de cobertura pode ser considerada alternativa para restaurar a qualidade do solo em áreas degradadas pelo cultivo intenso, ou seja, favorecer a diminuição da compactação, recuperação ou manutenção da qualidade do solo e estabilização da produtividade (HERRADA; LEANDRO; FERREIRA, 2017; ZOTARELLI et al., 2012).

2.5. Modelagem estatística da infiltração de água no solo

A modelagem é uma ferramenta importante no desenvolvimento de avaliações e planejamento de medidas de controle de um referido fenômeno (SANTOS et al., 2021).

Segundo Moraes, Debiasi e Franchini (2018), a modelagem adequada do movimento de água no solo só pode ser conseguida a partir de um processo de infiltração adequado. O mesmo ocorre a respeito do excesso de água precipitada em uma bacia hidrográfica, que é convertido em escoamento superficial.

Caracterizar todas as variáveis que influenciam na infiltração é um processo demorado e difícil. A intensidade com que algumas variáveis afetam o processo de infiltração ainda hoje, não é bem definida. Sendo assim, diversos modelos têm sido propostos visando simplificar o estudo da infiltração da água no solo. Os solos apresentam grande variabilidade espacial, ainda que dentro de pequenas áreas. Como resultado disto e também das variações temporais das propriedades do solo, a infiltração é um processo complexo, que pode ser descrito de forma aproximada, mediante o uso dos modelos (SILVA et al., 2020). Para isto, pode-se utilizar a Regressão Múltipla.

A análise de Regressão Múltipla é a metodologia de previsão e estimação de valores de uma variável de resposta de interesse por meio de um conjunto de variáveis regressoras (MORAIS et al., 2020), ou seja, um conjunto de técnicas estatísticas que

permite avaliar o relacionamento de uma variável dependente com duas ou mais variáveis independentes (PINHEIRO; RODRIGUES, 2020).

O resultado final da regressão múltipla é uma equação que representa a melhor predição de uma variável dependente a partir de diversas variáveis independentes (ABBAD; TORRES, 2002). Representa um modelo aditivo que explica a variável dependente em função da soma das variáveis preditoras.

Dabral e Pandey (2016), notaram que a regressão pode estimar capacidades de campo em diferentes profundidades de solo, utilizando propriedades de solo facilmente medidas como porosidade, densidade, índice de vazios, matéria orgânica. Assim, os modelos estatísticos têm sido amplamente empregados para estimar o valor de algum atributo ao invés de realizar a análise propriamente dita. Isto otimiza o processo de coleta e análise e os recursos materiais, humanos e econômicos.

Na análise de regressão múltipla, o objetivo é determinar uma equação que relacione a variável dependente y a mais de uma variável independente (LISBOA et al., 2020).

No modelo de regressão inserem-se dois ou mais coeficientes de inclinação acompanhado de diferentes variáveis preditoras que pode ser expresso pela Equação (1).

$$y = X\beta + e \quad (1)$$

em que y é o vetor $n \times 1$ das observações, X é a matriz $n \times (p+1)$ com os níveis das variáveis regressoras, β é o vetor $p \times 1$ com os coeficientes da regressão, $p=(k+1)$ e e é o vetor $n \times 1$ com os erros aleatórios, o erro que apresenta distribuição normal com média zero e variância σ^2 (SASSI et al., 2012).

Quando duas ou mais variáveis estão ligadas por uma relação estatística denota-se que existe correlação entre elas. Essa correlação é utilizada para se avaliar o grau de covariação entre as variáveis. Então, o primeiro passo, em um estudo de Análise de Regressão, é verificar a correlação entre as variáveis em estudo.

O Coeficiente de Correlação Linear de Pearson é um valor que informa a intensidade e a forma da correlação linear entre as variáveis. A partir da análise dos resultados podemos analisar se é adequada ou não a utilização do modelo linear para a modelagem do fenômeno (CAPP; NIENOV, 2020).

No Coeficiente de Correlação Linear de Pearson são dados n pares de observações amostrais $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$, supõe-se que, se existir

relação positiva entre os valores x e y , valores grandes de x estarão pareados com valores grandes de y , e assim, um valor de x , acima da média \bar{x} tenderá a estar pareado com um valor y , que está acima da média \bar{y} , e deste modo, $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) > 0$. Esse produto também será positivo se ambos x_i e y_i estiverem abaixo de suas médias. Porém, se os valores grandes de x estiverem pareados com valores pequenos de y , $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) < 0$. Maiores informações sobre este método encontram-se em Hoffman (2016).

O coeficiente de correlação linear de Pearson é dado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

O coeficiente de Pearson, disposto na Equação (2) mede o grau da correlação linear entre duas variáveis de escala métrica. Este coeficiente, normalmente representado por ρ assume apenas valores entre -1 e 1. Quanto mais o coeficiente se aproxima de -1, mais forte é a correlação linear negativa, como também, quanto mais se aproxima de 1, mais forte é a correlação linear, mas neste caso, positiva (ARAÚJO; SANTOS; GOMES, 2019).

Ao verificar a correção linear entre as variáveis x e y , é natural determinar a relação matemática determinística entre elas, que é dada por um modelo. Além dos modelos lineares há os não lineares.

Enquanto que os modelos lineares são compostos por uma relação linear da variável dependente com as preditoras, os modelos não lineares são caracterizados por funções $f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta})$ não lineares em pelo menos um dos parâmetros $\boldsymbol{\theta}_i$ (MORAIS et al., 2020). Em outras palavras, para que um modelo seja não linear é necessário que ao menos uma das derivadas da $f(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta})$ com relação a $\boldsymbol{\theta}_i$ dependa de ao menos um dos parâmetros $\boldsymbol{\theta}_i$.

O modelo de regressão não linear pode ser escrito conforme a Equação (3),

$$\mathbf{Y} = f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta}) + \mathbf{e}, \quad (3)$$

em que \mathbf{e} são os erros aleatórios sobre os quais são assumidos os pressupostos usuais $f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta})$ é a função das variáveis preditoras \mathbf{X} e parâmetros $\boldsymbol{\theta}$ a serem estimados.

Para efetuar os processos de regressão tanto linear quanto não linear, é utilizado o método dos mínimos quadrados. De acordo com Thomaz et al. (2019), para o modelo linear, o método é aplicado na função linear e baseia-se em encontrar os coeficientes de uma matriz de derivadas referente a cada uma das variáveis

explicativas igualadas a zero com o objetivo de minimizar a soma dos quadrados dos resíduos (SQR), ou seja, minimizar $\sum_{i=1}^n e_i^2$. Para os modelos não lineares o processo é feito considerando a linearização do modelo.

A linearização do modelo consiste em realizar a transformação da função esperança afim de torná-la linear nos parâmetros. Quando isso for possível, pode-se realizar uma regressão linear da variável transformada sobre os novos parâmetros e usar as estimativas dessa regressão como estimativas iniciais para o modelo não linear, ignorando o erro aleatório (SOBRINHO; FONTES, 2019).

Para obter a solução de ajuste da função linear em β a um conjunto de pontos $(y_1, x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots, x_{1p}), \dots, (y_n, x_{n1}, x_{n2}, x_{n3}, \dots, x_{np})$, pelo Método dos Mínimos Quadrados, deve-se minimizar a expressão abaixo (THOMAZ et al., 2019).

$$SQR = \mathbf{e}'\mathbf{e} = (\mathbf{y} - X\boldsymbol{\beta})'(\mathbf{y} - X\boldsymbol{\beta})$$

Derivando simultaneamente em termos de β tem-se:

$$\frac{\partial SQR}{\partial \boldsymbol{\beta}} = -2(X'\mathbf{y})' + 2X'\bar{X}\boldsymbol{\beta} \quad (4)$$

Igualando a derivada a zero e substituindo $\bar{\boldsymbol{\beta}}$ por $\hat{\boldsymbol{\beta}}$, obtém-se:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (X'X)^{-1}X'\mathbf{y}. \quad (5)$$

Portanto, o modelo de regressão ajustado e o vetor de resíduos são dados, respectivamente por:

$$\hat{\mathbf{y}} = X\hat{\boldsymbol{\beta}} \text{ e } \mathbf{e} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} = \mathbf{y} - X\hat{\boldsymbol{\beta}}. \quad (6)$$

Tem-se o valor esperado de $\hat{\boldsymbol{\beta}}$:

$$\begin{aligned} E(\hat{\boldsymbol{\beta}}) &= E[(X'X)^{-1}X'\mathbf{y}] \\ E(\hat{\boldsymbol{\beta}}) &= \boldsymbol{\beta} + (X'X)^{-1}X'E[\mathbf{e}] = \boldsymbol{\beta} \end{aligned} \quad (7)$$

visto que, $E[\mathbf{e}] = \mathbf{0}$ e $(X'X)^{-1}X'X = I_{p+1}$.

A matriz de covariância de $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ é dada por:

$$Cov(\hat{\boldsymbol{\beta}}) = E(\hat{\boldsymbol{\beta}}\hat{\boldsymbol{\beta}}') - E(\hat{\boldsymbol{\beta}})E(\hat{\boldsymbol{\beta}})' \quad (8)$$

$$Cov(\hat{\boldsymbol{\beta}}) = \sigma^2(X'X)^{-1} \quad (9)$$

visto que, $(X'X)^{-1}X'X = I_{p+1}$.

Considere a soma do quadrado dos resíduos, que como vimos anteriormente, é definido por:

$$SQR = \sum_{i=1}^n e_i^2 = (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}})'(\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}) \quad (10)$$

$$SQR = \mathbf{y}'(I_n - X(X'X)^{-1}X')\mathbf{y}$$

Assim obtém-se:

$$\frac{SQR}{\sigma^2} = \frac{\mathbf{y}'}{\sigma^2} [I_n - X(X'X)^{-1}X']\mathbf{y} \sim \chi_n^2; \quad (11)$$

Dados $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}; \sigma^2 I_n)$ e $\mathbf{y} \sim N(X\beta; \sigma^2 I_n)$. Então, segue que $\frac{SQR}{\sigma^2}$ é uma distribuição qui-quadrado central com $n-(p+1)$ graus de liberdade em que p é o número de variáveis independentes.

$$\frac{SQR}{\sigma^2} \sim \chi_{n-(p+1)}^2 \quad (12)$$

Portanto, um estimador não viciado para σ^2 é dado por:

$$\widehat{\sigma^2} = QMR = \frac{SQR}{n-p-1} \quad (13)$$

Quando se trabalha com análise de regressão, deve-se realizar a análise de variância com o objetivo de comparar os modelos e avaliar a significância da regressão. Considerando o modelo de regressão linear múltipla, definido em (1), pode-se construir a tabela ANOVA (tabela de análise de variância, corrigida pela média), dada pela Tabela 1.

As hipóteses em teste são:

$$\begin{aligned} H_0: \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_p = 0 \\ H_1: \text{Ao menos um } \beta_i \neq 0 \end{aligned} \quad (14)$$

E a regra de decisão é dada por:

Rejeita-se H_0 quando o $F_{\text{calculado}} \geq F_{\text{tabelado}}$ onde F_{tabelado} corresponde ao valor da distribuição F para p e $n-p-1$ graus de liberdade das estimativas da regressão e do erro.

Tabela 1: Tabela ANOVA (corrigida pela média)

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados Médios	$F_{\text{calculado}}$
Regressão	$SQTr$	p	$QMTr$	$\frac{QMTr}{QMR}$
Erro (resíduo)	SQR	$n-p-1$	QMR	$\frac{QMR}{QMR}$
Total	SQT	$n-1$		

Cada termo é definido por:

$$SQTr = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

$$SQR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$QMTr = \frac{SQTr}{p}$$

$$QMR = \frac{SQR}{n - p - 1}$$

$$SQT = SQTr + SQR$$

Assim, se a hipótese H_0 for verdadeira, o modelo não está bem ajustado, pois os coeficientes são estatisticamente iguais a zero. Pode-se também calcular o coeficiente de determinação e o coeficiente de determinação ajustado, dados respectivamente por:

$$R^2 = \frac{SQTr}{SQT} = 1 - \frac{SQR}{SQT} \quad (15)$$

$$R^2_{ajustado} = 1 - \left(\frac{n - 1}{n - (p + 1)} \right) (1 - R^2)$$

O coeficiente de determinação é uma medida de ajuste do modelo aos valores observados de uma variável aleatória (MARTINS, 2018).

Quando os dados contêm réplicas, ou seja, múltiplas observações com valores de X idênticos se faz necessário o Teste da Falta de Ajuste, disposto na Tabela 2:

Tabela 2: Tabela da falta de ajuste da regressão

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios	F
Falta de Ajuste	$m - p - 1$	$SQFa$	$QMFa$	$\frac{QMFa}{QMEp}$
Erro Puro	$m - n$	$SQEp$	$QMEp$	
Total	$n - 1$	SQT		

Tais que:

$$SQFa = \sum_{j=1}^m n_j (\hat{y}_j - \bar{y}_j)^2$$

$$SQEp = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2 \right)$$

$$QMFa = \frac{SQFa}{m - p - 1}$$

$$QMEp = \frac{SQEp}{m - n}$$

$$SQT = \frac{SQFa}{QMEp}$$

Na Tabela 2, as hipóteses em teste são:

$$\begin{aligned} H_0: & \text{ o modelo é adequado} \\ H_1: & \text{ o modelo não é adequado} \end{aligned} \tag{16}$$

E a regra de decisão é dada por: Não rejeita H_0 quando o $F_{\text{calculado}} \leq F_{\text{tabelado}}$ onde F_{tabelado} corresponde ao valor da distribuição F para $m-p-1$ e $m-n$ graus de liberdade das estimativas da falta de ajuste e erro puro. Assim, se a hipótese H_0 for a verdadeira, o modelo é adequado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do experimento

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Física do Solo – LAFIS, conforme a Figura 1, localizado no bloco G da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus Cascavel, Paraná.



Figura 1: Laboratório de Física do Solo da UNIOESTE.

3.2. Simulador de chuva

Os dados para o desenvolvimento desta pesquisa, foram coletados utilizando um sistema de simulador de chuva, de posse do Laboratório de Física do Solo da

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus Cascavel, conforme a Figura 2.



Figura 2: Simulador de chuva.

O simulador consiste de uma estrutura metálica totalmente desmontável com uma caixa de 1x1x0,3 m alocado ao centro, (A), contendo volume de solo. Essa caixa permite trazer o solo intacto do campo ou preparado em laboratório.

Escolheu-se um bico de cone cheio Quick FullJet, (B), para fazer a irrigação, por conter tamanho de gotas similar ao natural.

A diferença dos demais simuladores existentes é que possui guinchos manuais (talha), (C), que permitem mudar a angulação da superfície por meio de duas direções para atingir a declividade desejada.

Possui duas calhas, fixadas em sua estrutura, (D), para o qual o solo e a água em excesso escoam.

Foram inseridos nove sensores dentro do solo, (E), três em cada camada, para realizar análises de umidade. Possui um sensor ultrassônico, alocado ao balde, (F), que permite medir o volume de água percolada por meio da distância existente entre a água e o sensor.

Todas essas informações foram registradas em *datalogger*, (G), localizados num gabinete alocado a lateral do simulador, conforme a Figura 3.



Figura 3: *Datalogger*.

3.3. Coleta e preparação do solo e palha

O solo contido no simulador de chuvas foi compactado manualmente com diferentes densidades a cada três camadas. Para melhor representar o solo de um campo agrícola, foi carregado o solo e palha do Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR – polo regional de Santa Tereza do Oeste – Paraná, de coordenadas geográficas latitude 25° 03' 08" S, longitude 53° 37' 59" W.

As densidades de solo para cada camada foram definidas usando a média das coletas de solo de dois anos nesta mesma área experimental disposta na Tabela 3.

Tabela 3: Média da densidade do solo referente as coletas de dois anos

Camadas (cm)	Densidade (g/cm ³)
0-10	1,06
10-20	1,12
20-30	1,08

Nota: Os valores apresentados foram obtidos em experimentos do Grupo de Pesquisa nesta área experimental ao longo de dois anos – dados não publicados.

Para calcular a quantidade de solo a ser compactado, foi utilizado a Equação (17).

$$Msd = MSS \cdot (U + 1) \quad (17)$$

$$Msd = Ds \cdot VT \cdot (U + 1)$$

Em que Msd é a massa do solo de acordo com a densidade desejada (g), MSS a massa do solo seco (g), U a umidade atual do solo, VT o volume do recipiente a ser compactado (cm³) e Ds o valor da densidade desejada (g/cm³). O solo foi transportado direto do campo para o laboratório com sacos plásticos e de ráfia, todos lacrados para preservar a sua umidade. A compactação do solo na caixa do simulador foi feita utilizando estacas de madeira.

Em relação a cobertura, escolheu-se a palha de soja e calculou-se a quantidade necessária Mpd de acordo com a massa de palha seca estabelecida para o experimento Mps de acordo com uma proporção da quantidade de palha de um hectare e as dimensões da caixa de solo. Para denotar sua umidade utilizou-se a equação de umidade trazida do campo, disposta na Equação (18).

$$U = \frac{MSU - MSS}{MSS} \quad (18)$$

Assim, a Mpd foi calculada de acordo com a Equação (19) considerando as três amostras de palha.

$$Mpd = Mps \cdot (pU + 1) \quad (19)$$

3.4. Declividade e precipitação

A declividade do solo foi estabelecida por meio da altura da roda traseira (h_A), de acordo com a Equação (20):

$$h_A = \frac{Dec \cdot d_{AB}}{100} \quad (20)$$

em que Dec a porcentagem da declividade a ser avaliada e d_{AB} a distância entre as duas rodas tocando o trilho (cm). Para o simulador de chuvas construído, $d_{AB} = 89$ cm.

As alterações foram controladas pela talha, (C), que está alocada ao sistema do simulador de chuva, variando em 3, 8 e 20%, de acordo com a classificação (plano, suave-ondulado e ondulado) e com sua susceptibilidade a erosão (EMBRAPA, 1979; RAMALHO FILHO; BEEK, 1995). Todas essas alterações foram expostas à três intensidades de chuva controladas por meio de um manômetro. Utilizaram-se pressões de 10, 30 e 50 mca que culminaram nas intensidades de 38,60; 62,40 e 74,48 mm h⁻¹ respectivamente.

3.5. Caracterização dos tratamentos

O experimento consiste em um esquema fatorial 3x3x3 em que o solo foi submetido a três declividades (3, 8 e 20%), três precipitações (38,60; 62,40 e 74,48 mm h⁻¹) e três quantidades de palha de soja (0, 5 e 10 Mg ha⁻¹).

Foram realizadas quatro repetições para cada tratamento, portanto, foram 108 amostras. Desta forma, o delineamento experimental se deu da seguinte forma:

Tabela 4: Delineamento experimental do planejamento fatorial

Palha	Declividade	Precipitação	Número de Repetições
10 Mg ha ⁻¹	3%	38,60 mm h ⁻¹	4
	8%	62,40 mm h ⁻¹	
	20%	74,48 mm h ⁻¹	
5 Mg ha ⁻¹	3%	38,60 mm h ⁻¹	4
	8%	62,40 mm h ⁻¹	
	20%	74,48 mm h ⁻¹	
Sem cobertura	3%	38,60 mm h ⁻¹	4
	8%	62,40 mm h ⁻¹	
	20%	74,48 mm h ⁻¹	

3.6. Coleta dos dados da variável resposta

Após cada uma das combinações serem estabelecidas no simulador de chuva, o *datalogger* foi ligado na tomada e conferido o funcionamento de todos os sensores. Depois, foram abertos os registros de água e estabilizado por 2 minutos, segurando o gotejamento com bacia. Após a limpeza do bico com pressurizador de ar, foram feitas três repetições seguidas para encontrar a média da vazão do bico em 1 minuto. Assim que foi ligada a motobomba, foi controlada a vazão mediante a válvula mecânica direcional, conferindo a pressão pelo manômetro. Após estabilizado a pressão, com toda água guardada num recipiente, foi iniciada a coleta de chuva simulada, anotando-se a hora inicial na planilha eletrônica.

Um dos pesquisadores ficou responsável por monitorar a superfície do solo. Foi anotado o horário do início de escoamento sendo perceptível quando a água começa a formar uma lâmina fina na superfície do solo em direção às calhas. Depois de esperar o conteúdo escoado percorrer toda a calha até o bocal de saída, o cronômetro foi ligado e todo o escoamento foi coletado com beckers.

O tempo coletado para cada becker foi estipulado e anotado, dependendo do volume de escoamento alcançado na primeira amostra, sempre acima de 5 mL. Depois de 4 repetições, foram realizadas as leituras em provetas, de modo a quantificar as perdas de água. Desse modo, calculou-se a infiltração obtida pela diferença entre a quantidade de precipitação e a taxa de escoamento resultante.

Em solo descoberto, foi necessário desentupir o bocal da calha manualmente, por conter um filtro de retenção da palha.

Após concluir as repetições do determinado tratamento, a medida em que foi sendo alterada a quantidade de palha e julgando necessário, foi usado um pente de metal para escarificar superficialmente o solo no sentido perpendicular à declividade para evitar a influência do selamento superficial entre as repetições.

Finalizadas as coletas, foram desligados todos os registros de água e feito o backup dos dados dos sensores pelo cartão do *datalogger*.

3.7. Análise estatística

Após a realização da coleta de dados, os mesmos foram tabulados e com o auxílio do software RStudio (RSTUDIO TEAM, 2020), realizou-se a análise exploratória e foram construídos modelos de regressão e análise de resíduos.

Para as análises utilizou-se a Regressão Linear Múltipla. Primeiramente foi realizada a análise descritiva para verificar o comportamento dos dados. Posteriormente, por meio da matriz da correlação linear de Pearson avaliou-se a relação entre as variáveis.

Realizadas as análises de normalidade dos resíduos, homocedasticidade das variâncias e independências foi feita a Análise de Variância (ANOVA).

Os coeficientes do modelo foram validados com intervalos de confiança, coeficiente de determinação e teste da falta de ajuste.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 5 apresenta a estatística descritiva da infiltração da água no solo levando em consideração as 108 amostras. A amplitude dos dados, calculada pela diferença entre os valores máximo e mínimo, é alta, o que pode levar a acreditar que haja elevada dispersão dos dados. No entanto, por levar em consideração apenas estes dois valores, é importante a avaliação das demais medidas avaliadas.

Tabela 5: Estatística descritiva da infiltração

Estatística	Infiltração (mm h⁻¹)
Mínimo	2,48
1º Quartil	20,48
Mediana	24,75
3º Quartil	32,47
Média	26,59
Máximo	55,28
Variância	97,85
Desvio Padrão	9,89
CV (%)	37,20
Assimetria	0,66
Curtose	0,57

CV: coeficiente de variação.

Observando a Tabela 5, percebe-se que o coeficiente de variação foi muito alto, de acordo com a classificação de Pimentel Gomes (1985), mostrando a heterogeneidade dos dados. O que já era esperado para o conjunto geral dos dados, já que as alterações nas variáveis independentes foram relevantes, ou seja, o alto coeficiente de variação pode ser explicado, visto que para a estatística descritiva foram levados em consideração todos os dados coletados. Assim, pode ocorrer em discrepância nos valores de infiltração de água uma vez que obtiveram alterações no volume coletado quando em precipitações mais elevadas.

A Figura 4 apresenta o boxplot da infiltração. Percebe-se a média próxima a mediana, que indica normalidade dos dados. Visto o coeficiente de assimetria positivo espera-se que a cauda do lado direito da densidade de probabilidade seja maior que a do lado esquerdo. Ainda, a curtose observada foi positiva, evidenciando distribuição platicúrtica, isto é, possui a curva da função de distribuição mais achatada que a distribuição normal. Corroborando com os dados apresentados acima tem-se os

testes de normalidade Shapiro Wilk e Anderson Darling cujos p-valores foram de 0,38 e 0,30, respectivamente.

Percebe-se a mediana próxima ao primeiro quartil, o que indica assimetria positiva dos dados, indicando que a maioria dos dados se concentram no intervalo perto dos seus valores mínimos.

Os outliers são encontrados na porção em que ocorre maior taxa de precipitação, maior quantidade de palha e menor declividade, visto que esses fatores contribuem para maior retenção de água no solo. Assim como visto em Pinheiro et al. (2009), em que a infiltração de água no solo é afetada pela estrutura do solo, onde os responsáveis pela mesma são os macroporos; e pela retenção de água no solo, os microporos e a presença de palhada sobre o solo, característica principal do plantio direto. Além de diminuir a carga cinética da gota de chuva, a palhada evita a desagregação do solo superficial e do selamento superficial que reduz a infiltração.

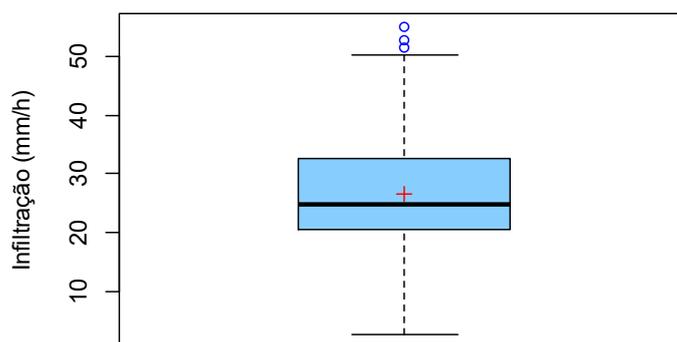


Figura 4: Boxplot da infiltração.

A Figura 5 apresenta o boxplot da taxa de infiltração em função da palha, declividade e taxa de precipitação. Observa-se a taxa de infiltração maior em declividades menores. Observa-se ainda, que a média está bem próxima da mediana nas três declividades indicando normalidade dos dados, desse modo visa a declividade como fator responsável pela maior ou menor infiltração das águas das chuvas (FILHO et al., 2014). Visto que, a tendência que a declividade aumenta, eleva o escoamento superficial e reduz da taxa de infiltração de água no solo, uma vez que a rampa da declividade acelera a velocidade do escoamento da água (BIAS et al., 2012).

Os dados analisados consolidam-se com os obtidos por Ferreira et al. (2010), que observaram maior taxa de infiltração no tratamento com 10% de declividade

quando comparado a declividade de 20%. A medida que o aumento da declividade proporcionou maior energia cinética e, conseqüentemente, maior capacidade de transporte de partículas, acarretando num aumento das perdas de solo.

A declividade também condiciona o acúmulo de MO do solo. Iori et al. (2014), denotou em lavouras cafeeiras que declividades de 3% aportam maiores conteúdos de matéria orgânica enquanto que, em locais com declividades entre 9% e 15%, conteúdos menores de matéria orgânica do solo foram observados, o que pode ser explicado pela menor perda de solo e carbono por erosão.

Ao se relacionar a infiltração com a quantidade de palha sobre a superfície, percebe-se maior taxa de infiltração nos tratamentos com maior quantidade de palha. Visto que, a matéria orgânica é uma proteção física contra o impacto da gota de chuva, evitando o processo erosivo do solo, e conseqüentemente a perda de solo pela enxurrada (SPERA et al., 2010; SANTOS; PEREIRA, 2013). Os resultados corroboram com os obtidos por Karami et al. (2012), que avaliando os efeitos de quantidades de matéria orgânica (5, 15 e 25 Mg ha⁻¹) observaram que, independentemente da quantidade aplicada, houve aumento na taxa de infiltração. Panachuki et al. (2011), observaram maiores perdas de água e solo e valores mais baixos de infiltração nos tratamentos sob semeadura direta sem cobertura do solo.

Já em relação da precipitação com a infiltração de água no solo, observa-se que quanto maior a intensidade de precipitação maior é a quantidade que infiltra. Zonta et al. (2012), denotam que o volume infiltrado está mais relacionado com o volume total precipitado, pois este determina a energia cinética acumulada das gotas de chuva, que podem causar o encrostamento da superfície. Flanagan, Foster e Moldenhauer (1987), justificam o comportamento pela quebra dos agregados tanto pela força mecânica do impacto das gotas de chuva como pelo rápido umedecimento e rachadura dos agregados, devido à alta intensidade de precipitação inicial e ao rápido umedecimento. Porém, salientam o cuidado com a compactação e selamento superficial nas maiores intensidades. Simões; Figueiredo e Silva (2005), em estudos em um Cambissolo, encontraram valores da taxa de infiltração estável, com uso de simulador de chuvas, de 57,7 mm h⁻¹ próximos aos valores encontrados nesse trabalho.

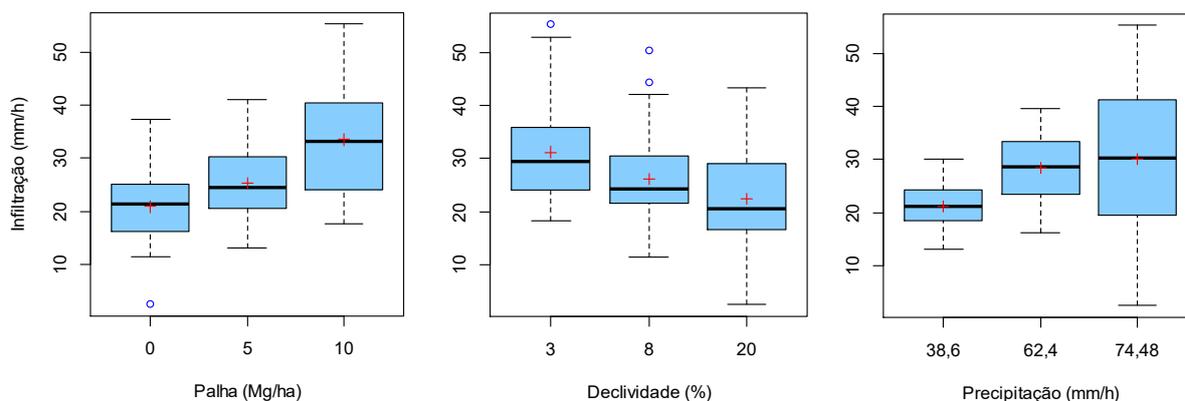


Figura 5: Boxplot da taxa de infiltração em função da palha, declividade e taxa de precipitação.

Ao relacionar as variáveis entre si, pode-se verificar a correlação existentes entre elas a partir da correlação linear de Pearson disposta na Figura 6. De acordo com a Figura 6, admitindo-se Y para infiltração, X1 para quantidade de palha, X2 para declividade e X3 para a intensidade de chuva, denota-se correlação positiva entre a quantidade de palha e a infiltração, ou seja, quanto maior a quantidade de palha na superfície do solo, maior a taxa de infiltração. Santos et al. (2017), concluíram que o solo com cobertura vegetal teve taxa de infiltração maior que o solo sem cobertura vegetal, pois a presença do sistema radicular facilita a infiltração da água no solo possibilitando maior velocidade de infiltração e, também maior acúmulo de água.

Ao se relacionar a declividade e a taxa de infiltração, obtém-se correlação negativa, isto é, quanto maior a declividade menor a taxa de infiltração de água. Esse resultado corrobora com os resultados obtidos por Amorim et al. (2001), em que obteve aumento da perda de água e solo de 9 vezes ao se variar a declividade de 2 para 18%. Isso se dá ao fato de que o aumento da declividade influencia no volume de água escoada na superfície do solo.

Quando se compara a infiltração com a precipitação percebe-se correlação positiva. Soares et al. (2008), constataram que as áreas com melhores condições de infiltração ocorrem associadas as elevadas precipitações médias visto que, maiores alturas de precipitação possuem maior probabilidade de contribuir para o processo de infiltração.

O maior valor absoluto da correlação linear foi da variável quantidade de palha (X1), com $r=0,5$ comparada com variável precipitação (X3) que resultou em $r=0,4$, enquanto o menor foi da variável declividade (X2), com $r=-0,3$. Portanto, a quantidade de palha teve maior influência sobre a taxa de infiltração comparada a outros fatores analisados.

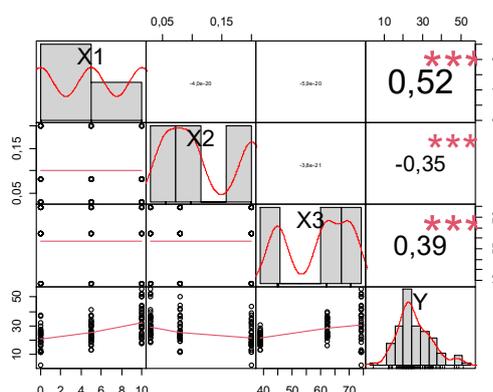


Figura 6: Matriz da Correlação Linear de Pearson, todos os valores significativos a 1% (***)

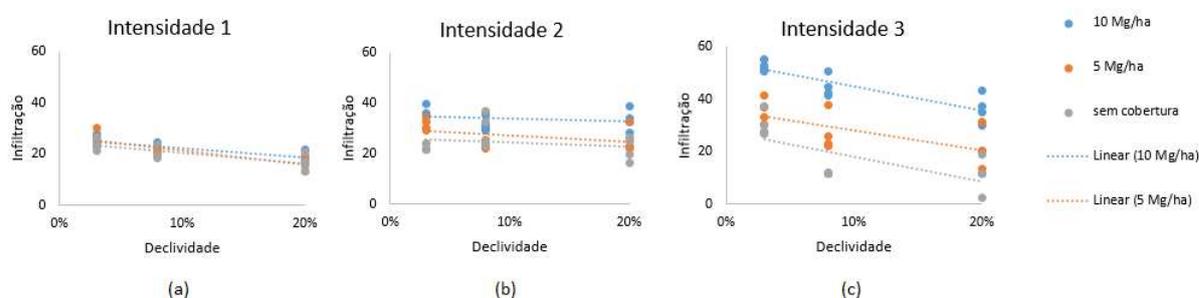
Bragagnolo e Mielniczuk (1990), Fabrizzi et al. (2005), De Vita et al. (2007) relatam que a palha exerce ação na redução da evaporação e conseqüentemente condiciona aumento da umidade no solo em plantio direto. Ressalta-se também que a evaporação da água do solo é maior no solo descoberto, principalmente logo após precipitações pluviais (DALMAGO et al., 2010). Zonta et al. (2012), observaram no tratamento sem cobertura um decréscimo de 75% da taxa de infiltração quando comparado ao tratamento com cobertura.

Pode-se perceber também a influência da palha sobre a superfície à medida que a taxa da precipitação aumenta, apresentada na Figura 7. Ao analisar a Figura 7, verifica-se que, quanto maior a quantidade de palha, o efeito da precipitação fica mais evidente. Ou seja, quando ocorrem chuvas de menor intensidade (Figura 7(a)), o efeito da palha é quase nulo (os gráficos parecem sobrescritos), já, quando a chuva é mais intensa (Figura 7(c)), a taxa de infiltração aumenta significativamente, à medida que a palha aumenta. Por este motivo, indica-se que, se a quantidade de palha for garantida, por meio de rotação de culturas, principalmente, com o uso de espécies de cobertura nas entre safras, mesmo com grandes intensidades de chuva, a infiltração de água no solo ocorrerá de forma satisfatória.

Os resultados corroboram com os de Jennings, Jarret e Hoover (1988), Silva e Kato (1997) e Barcelos, Cassol e Denardin (1999), que compararam os comportamentos das curvas da taxa de infiltração dos ensaios realizados em solo com e sem cobertura vegetal, observaram que nos ensaios sem cobertura a taxa de infiltração é significativamente menor. Silva, Andrade e Silva (2006), explicam que esse comportamento ocorre pelo fato de a condição superficial do solo ser um fator limitante para a infiltração, principalmente quando a superfície do solo se encontra descoberta, propícia à formação de encrostamento superficial.

Le Bissonais et al. (2005), afirmam que em solos sem cobertura vegetal o encrostamento superficial tem forte influência nas propriedades hidráulicas do solo como a taxa de infiltração. Brandão et al. (2006), mencionam reduções de até 85% na taxa de infiltração em função da formação de encrostamento superficial.

Assim, aponta-se a importância do uso da cobertura vegetal do solo em relação à sua proteção e prevenção de selamentos superficiais em precipitações elevadas garantindo infiltração adequada e reduzindo as perdas de água e solo por escoamento superficial.



Nota: Intensidade 1: 38,60 mm h⁻¹; Intensidade 2: 62,40 mm h⁻¹; Intensidade 3: 74,48 mm h⁻¹.

Figura 7: Comparação da relação declividade x infiltração nas intensidades de chuva.

A Figura 8 apresenta a análise dos resíduos da regressão linear múltipla. Em relação a normalidade, os dados apresentam homogeneidade na variância. Isso pode ser observado no gráfico de resíduos, visto que os resíduos apresentam um padrão próximo da normalidade. Pode-se chegar a mesma conclusão observando o histograma dos resíduos.

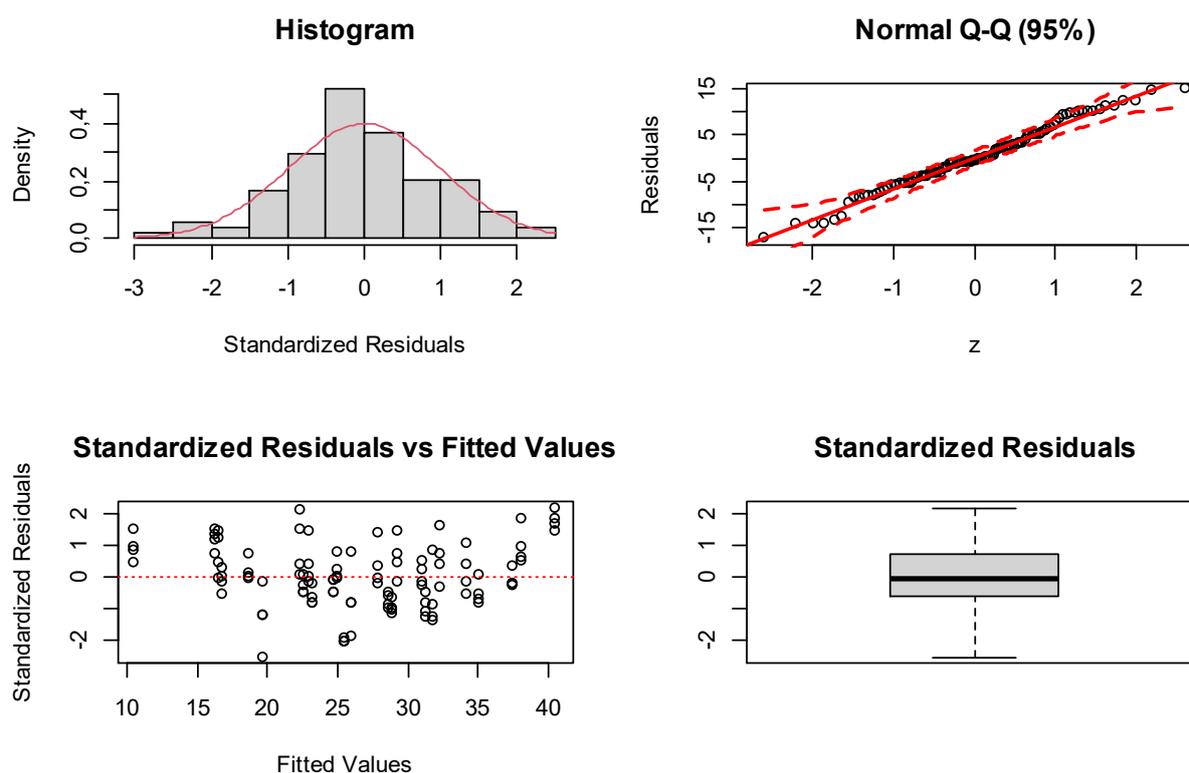


Figura 8: Análise dos resíduos da regressão linear múltipla.

Diante das constatações acima tem-se indícios de normalidade. Portanto, a análise de variância pode ser utilizada para verificar a qualidade do modelo ajustado. Apresenta-se a análise de variância na Tabela 6.

Tabela 6: Análise de variância (ANOVA)

	G.L.	SQ	QM	Fc	Pr(>F)
X1	1	2872,82	2872,82	62,72836	$2,75 \cdot 10^{-12}$
X2	1	1273,739	1273,739	27,81224	$7,31 \cdot 10^{-07}$
X3	1	1560,615	1560,615	34,07621	$6,08 \cdot 10^{-08}$
Resíduos	104	4762,97	45,79779		

G.L.: Graus de Liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: valor de F calculado; Pr(>F): probabilidade de ser maior que o F tabelado; X1: Quantidade de palha; X2: Declividade; X3: Intensidade de chuva.

Como $Pr < 0,05$ existe diferença entre os tratamentos, ou seja, existe efeito significativo das variáveis explicativas sobre a variável resposta. Isto significa que, existe efeito significativo da quantidade de palha, da declividade e da intensidade de chuva sobre a infiltração de água no solo. Carvalho et al. (2016) destacam que 50% da palhada, equivalendo a quantidade de 7 Mg ha^{-1} , apresenta grande potencial para

controle da erosão, determinando as menores lâminas de escoamento superficial e os maiores volumes de infiltração.

A manutenção na superfície do solo, de metade da palhada produzida pela cana, equivalendo a $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, tem o potencial de evitar a erosão contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas de produção da cultura (IVO et al., 2018).

Por meio dos coeficientes do modelo na Tabela 7, o modelo matemático de predição da infiltração é dado pela Equação (21) chegando a explicar 97% da variabilidade presente nos dados. Consideramos X1: quantidade de palha, X2: declividade e X3: intensidade de chuva.

$$I = 1,26X1 - 0,4814X2 + 0,26X3 + 10,33 \quad (21)$$

Tabela 7: Coeficientes do modelo de regressão múltipla da infiltração

	Estimativa	Erro padrão	Valor t	Pr(> t)
(Intercepto)	10,33322	2,911992	3,548507	0,000583
X1	1,263333	0,159509	7,920124	$2,75 \cdot 10^{-12}$
X2	-0,481412	0,0912848	-5,27373	$7,31 \cdot 10^{-07}$
X3	0,255017	0,043686	5,837483	$6,08 \cdot 10^{-08}$

X1: Quantidade de palha; X2: Declividade; X3: Intensidade de chuva.

Como houve repetições no experimento, se faz necessário o teste da falta de ajuste. Desse modo, obtém-se a Tabela 8, como $\text{Pr} > 0,05$. Verifica-se que o modelo se ajusta bem aos dados com 5% de significância e apresenta boa qualidade.

Tabela 8: Teste da falta de ajuste

	Res.G.L.	SQR	G.L.	SQ	F	Pr(>F)
1	104	4762,97				
2	101	4495,31	2	267,66	2	0,12

Res.G.L.: Grau de liberdade dos resíduos; SQR: Soma residual dos quadrados; G.L.: grau de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; F: valor de F calculado; Pr(>F): probabilidade de ser maior que o F tabelado.

5. CONCLUSÕES

A quantidade de palha teve maior influência sobre a taxa de infiltração comparada à precipitação e declividade do terreno, ao passo que a precipitação teve menor influência. De modo que, foi perceptível a influência da palha sobre a superfície a medida que a taxa da precipitação aumenta, pois em precipitações de menor intensidade o efeito da palha foi praticamente nulo e em intensidades elevadas a taxa de infiltração aumentou significativamente à medida que a palha aumenta. Portanto, conclui-se que se a quantidade de palha for garantida, mesmo com grandes intensidades de chuva, a infiltração de água no solo ocorrerá de forma satisfatória prevenindo selamentos superficiais e reduzindo as perdas de água e solo por escoamento superficial.

O modelo ajustado apresentou boa qualidade, chegando a explicar 97% da variabilidade se ajustando com exatidão aos dados analisados ao nível de 5% significância.

CAPÍTULO 2

VIDALETTI, Vitória Fenilli, Ma. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Março de 2022. **Influência da declividade, precipitação e cobertura do solo no escoamento de água e sedimentos.** Orientadora: Dra. Araceli Ciotti de Marins.

RESUMO

A avaliação quantitativa das perdas de solo e água por escoamento superficial é fundamental para o planejamento ambiental, uma vez que seu conhecimento contribui para a tomada de decisão relacionada às melhores opções de manejo do solo e à manutenção da qualidade dos recursos hídricos. A estimativa destes dados tem sido realizada com a utilização de modelos, para a verificação dos efeitos resultantes das modificações no uso do solo. O objetivo deste capítulo foi determinar e modelar o escoamento superficial em um solo construído, mediante alterações na declividade, quantidades de palha sobre a superfície e intensidade de chuva por meio de um simulador de chuva. Os dados foram coletados e analisados estatisticamente por meio da Análise de Componentes Principais e Regressão Múltipla e, com auxílio do Software RStudio formulou-se o modelo que descreveu a relação dessas variáveis com as perdas de água e solo. Na Análise de Componentes Principais observou-se maior influência da intensidade nas perdas de água e da declividade nas perdas de solo. Os modelos ajustados por meio da Regressão Múltipla para as perdas de água e solo 99 e 90% da variabilidade dos dados, respectivamente, com todos os coeficientes significativos a 5%.

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

PALAVRAS-CHAVE: Chuva simulada; erosão; produtividade.

VIDALETTI, Vitória Fenilli, Ma. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. March 2022. **Influence of slope, precipitation and land cover on water and sediment runoff**. Advisor: Dra. Araceli Ciotti de Marins.

ABSTRACT

The quantitative assessment of soil and water losses by surface runoff is fundamental for environmental planning, since its knowledge contributes to decision making related to the best options for soil management and the maintenance of the quality of water resources. The estimation of these data has been carried out using models to verify the effects resulting from changes in land use. The objective of this chapter was to determine and model the surface runoff in a constructed soil, through changes in slope, amounts of straw on the surface and rainfall intensity through a rainfall simulator. Data were collected and statistically analyzed using Principal Components Analysis and Multiple Regression and, with the help of RStudio Software, the model was formulated that described the relationship of these variables with water and soil losses. In the Principal Component Analysis, a greater influence of intensity on water losses and slope on soil losses was observed. The models fitted using Multiple Regression for water and soil losses at 99 and 90% of the data variability, respectively, with all coefficients significant at 5%.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

KEYWORDS: Simulated rain; erosion; fertility.

1. INTRODUÇÃO

As propriedades do solo afetam o transporte de materiais sob os impactos do descolamento da chuva e do escoamento superficial. Desta forma, mudanças no uso da terra e em suas características geralmente acontecem durante o desenvolvimento agrícola, o que leva a respostas hidrológicas que tem um efeito sinérgico na erosão (OUYANG et al., 2018).

Por ser um problema recorrente na prática agrícola, boa parte das pesquisas sobre a erosão tendem a buscar estimativas de perdas de solo e, por meio de práticas conservacionistas, reduzi-los ao máximo (EDUARDO et al., 2013). Tais pesquisas são de alta relevância científica e precisam ser destacadas, visto que, lamentavelmente, as estratégias de conservação de solo e água não são frequentemente aplicadas (KEESSTRA et al., 2016).

Um dos métodos utilizados para essas estimativas é a análise exploratória de dados multivariados que são largamente utilizados quando se deseja promover a redução do número de variáveis com o mínimo de perda de informação (HELENA et al., 2000). A análise de componentes principais é uma das técnicas utilizadas para resolver problemas clássicos de análise fatorial. Essa análise permite a redução da dimensão de dados facilitando a extração de informações que serão de grande relevância na avaliação das perdas de solo e água por escoamento (SILVEIRA; ANDRADE, 2002).

No entanto, dados coletados diretamente da natureza podem apresentar valores imprecisos dada sua grande variabilidade, ou serem de difícil coleta. Diante da necessidade de se obter precisão na análise indica-se o uso de um simulador de chuvas visto que é considerado o método de determinação das perdas de solo e água por escoamento superficial que melhor representa a realidade local. Dessa forma, é possível simular as condições típicas de chuvas naturais, como velocidade de impacto e distribuição do tamanho das gotas da chuva, intensidade de precipitação, ângulo de impacto das gotas e capacidade de reproduzir a intensidade e a duração das chuvas intensas (SPOHR et al., 2015).

Desse modo, por meio de um simulador de chuva objetiva-se nesse capítulo realizar alterações propositais na intensidade da chuva, declividade e disponibilidade de palha sobre o solo e assim e avaliar seu efeito combinado sobre as perdas de água

e solo por escoamento superficial. Utilizar a análise de componentes principais para denotar quais dessas alterações possui maior relevância significativa e estabelecer um modelo de regressão múltipla que relacione todas as variáveis com a perda de solo e água.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Perdas de água, solo e nutrientes por erosão

A erosão do solo é considerada um dos maiores problemas ambientais pois, além das perdas de solo e nutrientes, está associada a inundações, assoreamento e poluição de corpos hídricos (ALVES; SILVA, 2020). Locais em que os processos erosivos são detectados a qualidade do solo é comprometida e o excesso de água afasta os sedimentos, nutrientes e pesticidas, poluindo corpos d'água assoreando-os e causando a eutrofização das águas (BRAMORSKI; CRESTANA, 2020).

A erosão é intensificada pelas atividades humanas, por alterações no uso da terra e práticas de manejo inadequadas como plantio em desnível, pastoreio excessivo, queimadas e trânsito desordenado de maquinário agrícola (PANDEY et al., 2016). O manejo inadequado do solo traz consequências ambientais imediatas por desencadear a redução da biomassa nativa e da produtividade das culturas (SILVA; NEVES, 2020).

O uso do solo, de forma imprópria, em conjunto com a variabilidade do regime pluvial, promove a diminuição da infiltração da água, além de comprometer e intensificar a perda de solo agricultável e consequentemente assorear a rede de drenagem de modo a afetar a dinâmica da água nas bacias, com reflexo na sua capacidade de gerar e manter um regime de escoamento, com bom grau de regularização (FERREIRA et al., 2020).

Entre as diversas formas de erosão, a erosão hídrica causa degradação dos solos agrícolas, pois promove perda da camada superior e fértil, redução da qualidade do solo: física, química e biológica, perda de água e, portanto, redução da produtividade (TAVARES et al., 2020).

O processo erosivo é formado por três etapas: a desagregação, o transporte e a deposição de partículas (THOMA et al., 2020). A energia da chuva é aplicada à superfície do terreno e ao ultrapassar o limite de resistência ao cisalhamento, iniciam-se as transferências de matéria por processos de desestabilização dos agregados do solo, de movimentação e transporte de partículas e de sedimentação em zonas mais rebaixadas do relevo (DEMARCHI; PIROLI; ZIMBACK, 2019).

A duração, intensidade e energia cinética da precipitação interagem de forma direta com a superfície do solo, produzindo resultados distintos em decorrência do manejo adotado (SILVA et al., 2019). De acordo com as práticas conservacionistas, estima-se uma taxa máxima de erosão anual em $49,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}$ (PEREIRA, 2014). Em contrapartida, ao desconsiderar a existência de práticas de conservação, as perdas de solos podem atingir $78,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}$ (PEREIRA; RODRIGUES, 2018).

A topografia tem sua importância com relação à declividade e comprimento da encosta sendo um fator determinante na velocidade dos processos erosivos. Isto porque relevos mais acidentados, com declividades mais acentuadas, favorecem o aumento de velocidade do escoamento superficial, aumentando sua capacidade erosiva (SOUSA et al., 2020).

Ferreira et al. (2010), por meio de um de um esquema fatorial, com quatro níveis de cobertura do solo observaram que no tratamento sem cobertura a perda total de solo correspondente à declividade de 20% foi, em média, 1,37 vezes maior que a correspondente à declividade de 10%. Na declividade de 10% a perda total de solo correspondente ao tratamento sem cobertura foi, em média, 4 vezes maior que a correspondente ao tratamento com 1 Mg ha^{-1} de palha e 16 vezes maior que a correspondente ao tratamento com 5 Mg ha^{-1} . No tratamento com cobertura a perda total de solo correspondente ao tratamento com 1 Mg ha^{-1} foi, em média, 4 vezes maior que a correspondente ao tratamento com 5 Mg ha^{-1} .

A vegetação de determinado local também é influenciada pela erosão, isto porque o clima será decisivo nas características naturais da cobertura vegetal, definindo o tipo de proteção oferecida ao terreno. Esta proteção consiste na redução do escoamento superficial e na redução do impacto direto das gotas de chuva, diminuindo assim a capacidade das águas de removerem e transportarem partículas do solo (OLIVEIRA; SANTOS; ARAÚJO, 2018).

Solos com baixos teores de matéria orgânica, alta compactação, drenagem insuficiente, podem acelerar o processo de erosão além de limitar a produtividade agrícola e comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas (RODRIGUES et al., 2018). Li, Niu e Xie (2014), observaram, em média, redução de cerca de 30% no escoamento superficial e 80% na perda de solo quando o cobriram com resíduos vegetais, em relação ao solo exposto.

Silva et al. (2017), constataram que as áreas cobertas por matas foram responsáveis por manter as taxas de erosão menores que $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 93,4% da área de estudo, enquanto que, as áreas cobertas por matas e área urbana foram responsáveis por manter os valores do fator cobertura baixos para grande parte da área de estudo. As áreas que apresentaram taxas de erosão superiores a $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}$ encontravam-se em locais com atividades agrícolas e com altas declividades elevadas. Desse modo, a presença de matéria orgânica tem suma importância no controle da erosão, pois provoca aumento na capacidade de infiltração do solo resultando numa diminuição dos possíveis danos causados pela erosão.

Essas perdas de solo e nutrientes são ocasionadas pela água da chuva que não encontra barreiras para atingi-lo, descarrega toda sua energia sobre seus agregados que sofreram desagregação e que foram transportados por salpicamento e se depositaram em outro local, o que traz, como consequência, o entupimento dos poros (STEFANOSKI et al., 2013).

O entupimento dos poros causa um selamento superficial, o que afeta a infiltração da água, de modo a aumentar a quantidade de água perdida por escoamento, e que, junto com a mesma, arrasta partículas do solo (PRAZERES et al., 2020). Por isso, a amostra com maior quantidade de matéria orgânica possui maior proteção, pois a matéria orgânica além de servir como grande barreira que o protege contra o impacto da gota de chuva dissipa sua energia cinética, o que impede a desagregação e posterior obstrução dos poros e evita a formação de camada de selamento superficial (MELO et al., 2019). Assim, a quantidade de água infiltrada acaba sendo maior, o que reduz as perdas por escoamento superficial.

2.2. Modelagem estatística das perdas de solo e água

Sabe-se que o movimento da água no solo pode ser condicionado por diversos fatores como a matéria orgânica, selamento superficial, o manejo, a porosidade, a densidade e sua variabilidade espacial. A caracterização e o maior entendimento destas dependências tornam-se fundamentais para permitir um melhor entendimento de seus processos físicos (GUIMARÃES et al., 2013). Nesse sentido, a Análise de Componentes Principais (PCA), pode ser considerada como ferramenta de compreensão, que permite diminuir a dimensionalidade da matriz de dados, facilitando

a sua visualização. Espera-se que um menor número de componentes possa explicar a maior parte da variância dos dados originais sem perda relevante de informação.

Dito isso, nota-se que o uso de modelos estatísticos vem sendo utilizado para a estimativa de atributos do solo com o intuito de prever um valor a partir da correlação que existe entre a variável e outras variáveis ou covariáveis (JUNIOR et al., 2016).

A PCA (Principal Component Analysis) é uma técnica de análise multivariada que pode ser usada para analisar inter-relações entre um grande número de variáveis e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões (componentes) (ALVES et al., 2016).

Procura-se redistribuir a variação observada nos eixos originais em prol de se obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados (MANLY, 1986; HONGYU, 2015).

O objetivo principal da PCA é o de explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório, composto de k -variáveis aleatórias, por meio de combinações lineares das variáveis originais (CARVALHO et al., 2017). Essas combinações lineares são chamadas de componentes principais e são não correlacionadas entre si. Desse modo, o número de componentes principais se torna o número de variáveis consideradas na análise.

Os componentes principais são extraídos via matriz de covariância, mas também podem ser extraídos via matriz de correlação. Possuem importantes propriedades visto que são combinações lineares das variáveis originais com o propósito de reter o máximo de informação em termos da variação total contida nos dados (JOHNSON; WICHERN, 1998; HONGYU, 2015).

De acordo com Costa e Araújo (2017), para se ordenar um conjunto de n observações, segundo o critério definido pelo conjunto de k variáveis adequadas, é necessário escolher os pesos ou ponderações das variáveis de tal forma que traduzam a informação contida na variável.

Os autovetores, que são compostos de coeficientes que correspondem a cada variável, são usados para calcular os escores dos principais componentes. Os coeficientes indicam o peso relativo de cada variável no componente (MOURA; VITORINO; ADAMI, 2018).

Assim, para a construção da combinação linear de variáveis que ofereça o máximo de informação fornecida pelo conjunto de variáveis selecionadas utiliza-se a

PCA, pois é um método que cria combinações lineares com máxima variância (HOW; LAM, 2018).

Na PCA, de acordo com Nogarotto, Lima e Pozza (2020), admitindo-se n observações para k variáveis, toma-se X_{ij} (com $i = 1, \dots, k$ e $j = 1, \dots, n$) à j -ésima observação com à i -ésima variável e se faz a transformação, conforme a Equação (22),

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{\sqrt{\sum_j (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}} \quad (22)$$

obtendo-se $\sum x_{ij} = 1$. Isto significa que, no espaço n -dimensional das observações, o vetor x_i , para cada variável tem módulo 1 (DE CARVALHO et al., 2017). Posteriormente, todas as variáveis têm a mesma variância e a participação de uma variável na determinação dos componentes principais dependerá apenas de suas correlações com as demais variáveis. Assim, na Equação (23) define-se a matriz,

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ \vdots \\ x'_k \end{bmatrix} \quad (23)$$

e verifica-se que a matriz das correlações simples entre as variáveis é dada pela Equação (24). Para maiores informações consultar Hoffman (2016).

$$R = XX' \quad (24)$$

Na Equação (25), considera-se a combinação linear das k variáveis normalizadas,

$$g'_1 = c'_1 X \quad (25)$$

Onde g'_1 é um vetor-linha com n elementos e c'_1 é um vetor-linha com os k coeficientes da combinação linear considerada. Desse modo, o primeiro componente principal de X é a combinação linear $g'_1 = c'_1 X$, com variância máxima, sujeita à restrição $c'_1 c_1 = 1$.

Então, o segundo componente principal pode ser definido como a combinação linear $g'_2 = c'_2 X$ com variância máxima, sujeita às restrições $c'_2 c'_2 = 1$ e $c'_2 c_1 = 0$, o que significa que g'_1 e g'_2 são vetores ortogonais, isto é, são não-correlacionados, linearmente independentes (QUEIROZ et al., 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O Experimento é o mesmo apresentado no Capítulo 1, portanto aqui, será apresentado apenas como os dados foram coletados e analisados.

3.1. Coleta dos dados da variável resposta

Para preparação das coletas de material escoado, foram pesadas latinhas enumeradas com balança de precisão de 4 casas decimais.

O processo de coleta dos dados do escoamento é idêntico ao abordado no Capítulo 1.

Para perdas de solo, foi colocado todo conteúdo de água e solo coletado em uma garrafa de 1,5 L. Depois de homogeneizado, foram separadas 3 amostras de 50 mL em latinhas para posterior secagem à 105°C em estufa e pesagem em balança de precisão, desconsiderando o peso das latinhas. Com os resultados, foi estimada a concentração em g/mL e multiplicado pelo volume escoado e, com isso, obteve-se as 80 amostras da perda de solo.

3.2. Análise estatística

Após a realização da coleta de dados, os mesmos foram tabulados e com o auxílio do software RStudio (RSTUDIO TEAM, 2020), realizou-se a análise exploratória dos dados. Por meio da Análise de Componentes Principais agrupou-se as variáveis a fim de determinar as mais influentes nas perdas de solo e água.

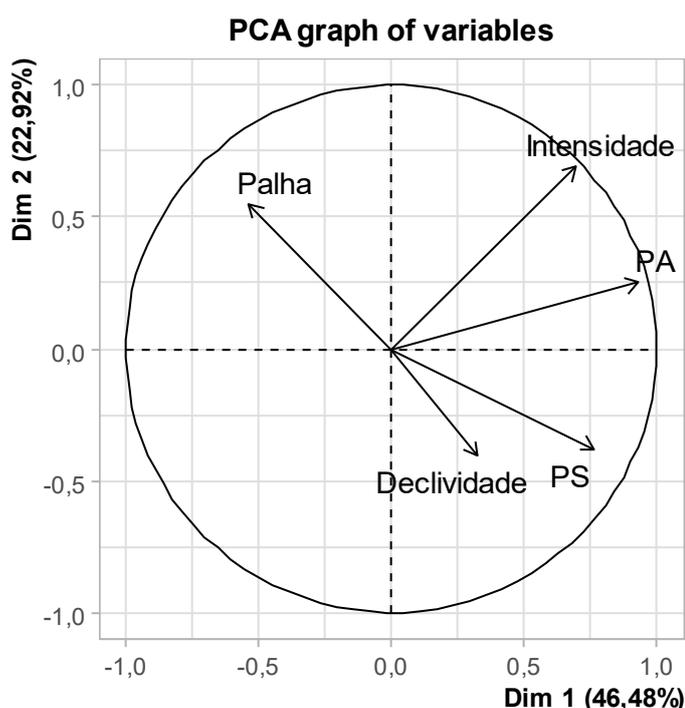
Assim, foi realizada a análise descritiva para verificar o comportamento dos dados. Em seguida, por meio da matriz da correlação linear de Pearson, avaliou-se a existência de relação linear entre as variáveis e posteriormente utilizou-se a Regressão Linear Múltipla.

Realizadas as análises de normalidade dos resíduos, homocedasticidade das variâncias e independências foi feita a Análise de Variância (ANOVA).

Os coeficientes do modelo foram validados com intervalos de confiança, coeficiente de determinação e teste da falta de ajuste.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise dos componentes principais feita no RStudio, obteve-se os resultados dispostos na Figura 9, sendo PA a perda de água e PS a perda de solo.



Nota: PA: Perdas de água. PS: Perdas de solo. PCA: Análise de Componentes Principais.

Figura 9: PCA das perdas de solo e água.

De acordo com Hongyu, Sandanielo e Oliveira Junior (2016), existem correlações altas e diretas entre as variáveis PA, Intensidade, Declividade e PS pois formam ângulos agudos entre si.

Isso pode ser explicado pelo fato de que declividades acentuadas relacionadas com o tipo de uso de solo favorecem o escoamento superficial e a erosão (SANTOS; SOBREIRA, 2008). Isto pode ser verificado, por exemplo, no trabalho de Galarza, Bonumá e Franco (2015), os quais relataram que as perdas de solo consideradas de intensidade forte, foram maiores que $3601 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}$, com valores máximos de até $468 \text{ t ha}^{-1}\text{dia}$ associadas a áreas com maior declividade do terreno.

Quanto maior a intensidade de chuva maior a probabilidade de ocorrer um selamento superficial e conseqüentemente perdas de água e solo por escoamento

superficial. Jardim et al. (2020) denotaram maiores perdas de solo e água nos períodos em que as chuvas foram superiores à média anual. Oliveira et al. (2013) relataram maiores perdas de água por escoamento superficial nas chuvas de intensidade mais elevadas.

4.1. Perda de água

A Tabela 9 apresenta a estatística descritiva das perdas de água levando em consideração as 108 amostras. A amplitude dos dados, calculada pela diferença entre os valores máximo e mínimo, é alta, o que pode significar elevada dispersão dos dados. No entanto, por levar em consideração apenas estes dois valores, é importante a avaliação das demais medidas avaliadas.

Tabela 9: Estatística descritiva das perdas de água

Estatística	Perdas de água (mL/min)	Declividade (3%)	Declividade (8%)	Declividade (20%)
Mínimo	140,00	140,00	200,00	280,00
1º Quartil	330,00	305,37	298,33	378,75
Mediana	500,00	440,00	530,00	585,00
3º Quartil	663,75	632,50	660,00	725,00
Média	531,69	454,39	539,11	601,55
Máximo	1200,00	800,00	1050,00	1200,00
Variância	57704,59	37344,31	66419,42	61423,97
Desvio Padrão	240,22	193,25	257,72	247,84
CV (%)	45,18	42,53	47,80	41,20
Assimetria	0,66	0,18	0,64	0,71
Curtose	-0,16	-1,20	-0,45	-0,37

CV: coeficiente de variação.

Observando a Tabela 9, percebe-se que o coeficiente de variação foi muito alto, de acordo com a classificação de Pimentel Gomes (1985), mostrando a heterogeneidade dos dados. O que já era esperado para o conjunto dos dados já que as alterações nas variáveis independentes foram relevantes, ou seja, o alto coeficiente de variação pode ser explicado, visto que para a estatística descritiva foram levados em consideração todos os dados coletados. Assim, pode ocorrer em discrepância nos

valores das perdas de água uma vez que obtiveram alterações no volume coletado quando em precipitações mais elevadas.

Visto o coeficiente de assimetria positivo espera-se que a distribuição seja assimétrica a direita, com a média maior que a mediana, ou seja, a cauda do lado direito da densidade de probabilidade seja maior que a do lado esquerdo. Ainda, a curtose observada foi negativa evidenciando distribuição leptocúrtica, isto é, possui a curva da função de distribuição mais afunilada que na distribuição normal. Corroborando com os dados apresentados acima tem-se os testes de normalidade Shapiro Wilk e Anderson Darling cujos p-valores foram de 0,38 e 0,30, respectivamente.

A Figura 10 apresenta o boxplot das perdas de água. Percebe-se que os outliers são encontrados na porção em que ocorre maior taxa de precipitação, sem cobertura vegetal e maior declividade, visto que isso potencializa a perda de água por escoamento superficial.

O aumento das perdas com o aumento da declividade do terreno se deve ao aumento da capacidade erosiva da enxurrada nos declives mais acentuados, decorrente do aumento de sua velocidade, especialmente quando o solo é intensamente mobilizado e apresenta baixa cobertura superficial, ficando sujeito à formação de sulcos, selos e ou, crostas, os quais dificultam a infiltração de água no solo e favorecem o escoamento superficial (COGO, LEVIEN, SCHWARZ, 2003).

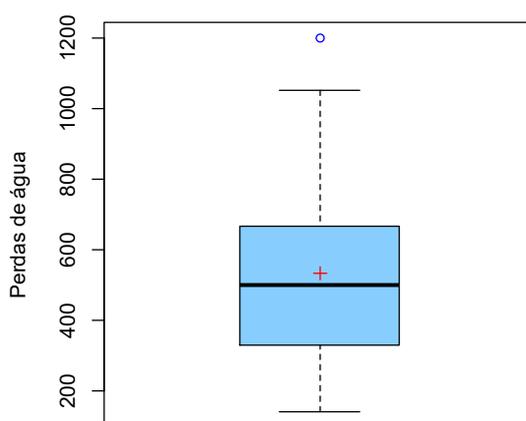


Figura 10: Boxplot das perdas de água.

A Figura 11 apresenta o boxplot das perdas de água em função da palha, declividade e precipitação. Observa-se que o aumento na intensidade da chuva foi responsável pelo aumento nas perdas de água o que confirma o trabalho de Hachum e Alfaro (1977). Eles relataram que padrões de chuva com picos de 80 mm h^{-1} são ineficientes para serem usados em irrigação por pivô central pois há perda de 63% da água aplicada por escoamento superficial. Eltz, Mehl e Reichert (2001), analisaram que as taxas máximas de perdas de água foram, respectivamente, de 19, 22 e 79% maiores na chuva do padrão atrasado do que nas chuvas dos outros padrões (avançado, intermediário e constante). Na camada superficial do solo ocorre maior vulnerabilidade ao selamento superficial. Apresentado como camada de partículas com adensamento provocado pelo impacto das gotas de chuva, o selamento induz ao impedimento da infiltração da água da chuva, resultando na sua retenção em superfície (CÂNDIDO et al., 2014).

Em relação a palha sobre a superfície, quanto maior a sua quantidade menores foram as perdas de água consolidando com os resultados de Rodrigues et al. (2015) que simularam a precipitação em parcelas com e sem cobertura vegetal para avaliar a perda de água e solo provocada pela erosão. Ademais, em solos descobertos ocorreu aumento de 98,09% de sedimentos comparado aos que apresentaram cobertura. Oliveira et al. (2015) também afirmaram que a diminuição da cobertura superficial no solo acelera a erosão hídrica

Keesstra et al. (2016) também encontraram redução das perdas de água com o crescimento da cobertura vegetativa no solo. Tudo isso pode ser explicado pelos maiores valores de condutividade hidráulica e macroporosidade que a intensa existência de camada vegetal proporciona ao solo (EDUARDO et al., 2013; CÂNDIDO et al., 2014).

Em maiores declives maiores são as perdas de água, também encontradas por Igawa e Maciel (2018) os quais apontaram maiores perdas de água e solo principalmente em declividades elevadas.

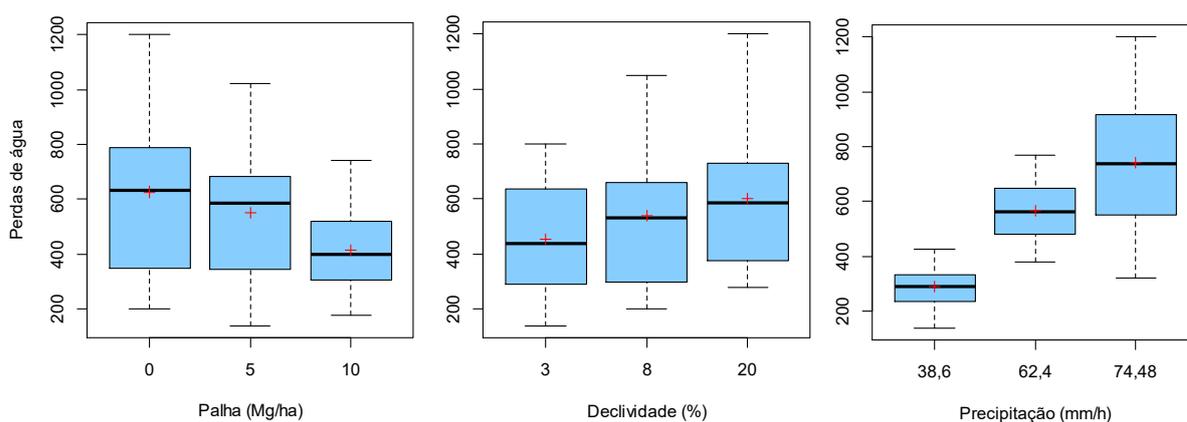


Figura 11: Boxplot das perdas de água em função da palha, declividade e precipitação.

Ao relacionar as variáveis entre si, pode-se verificar a correlação existentes entre elas a partir da correlação linear de Pearson, disposta na Figura 12. De acordo com a Figura 12, admitindo-se Y para perdas de água, X1 para quantidade de palha, X2 para declividade e X3 para a intensidade de chuva, obteve-se correlação negativa entre a quantidade de palha e as perdas de água, ou seja, quanto maior a quantidade de palha na superfície do solo menores as perdas de água. Martins et al. (2010), Silva et al. (2011), Oliveira et al. (2013) e Silva et al. (2014), observaram que a camada orgânica presente na superfície funciona como barreira física ao livre escoamento superficial, diminuindo o volume e a velocidade da enxurrada e assim, sua capacidade erosiva de desagregação e transporte de solo.

Ao se relacionar a declividade e as perdas de água, obtém-se correlação positiva, isto é, quanto maior a declividade maiores são as perdas de água por escoamento superficial. Cogo, Levien e Schwarz (2003), observaram que na menor classe de declividade as perdas foram relativamente baixas e semelhantes entre os preparos e nas classes de declividade mais elevadas as diferenças nas perdas entre os preparos cresceram consideravelmente.

Quando se compara as perdas de água com a precipitação percebe-se correlação positiva. Avanzi et al. (2008), também apontou as maiores quantidades de chuvas como fator responsável pelos eventos de escoamento superficial.

O maior valor absoluto da correlação linear foi da variável precipitação (X3), com $r = 0,8$ comparada com variável cobertura vegetal (X1) que resultou em $r = -0,4$, enquanto o menor foi da variável declividade (X2), com $r = 0,2$. Portanto, a precipitação teve maior influência sobre as perdas de água, comparada a outros fatores analisados.

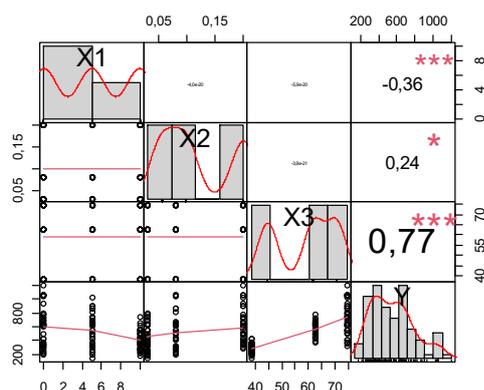


Figura 12: Matriz da Correlação Linear de Pearson.

Os resultados se assemelham com os de Oliveira et al. (2015) ao constatarem a correlação linear e positiva entre a precipitação e as perdas de água por escoamento superficial. Prosdocimi et al. (2016), observaram, ao avaliar o efeito da palha de cevada no escoamento superficial, que as perdas de água e solo reduziram com a utilização da palha.

Pode-se perceber também a influência da palha sobre a superfície a medida que a taxa da precipitação aumenta. A Tabela 10 apresenta o resultado do Teste Tukey dos desdobramentos da quantidade de palha *versus* declividade do terreno dentro de cada intensidade de chuva.

Tabela 10: Teste de Tukey do Planejamento Fatorial da perda de água

Palha	Intensidade 1			Intensidade 2			Intensidade 3		
	Declividade (%)			Declividade (%)			Declividade (%)		
	3	8	20	3	8	20	3	8	20
0	310Aa	237Aa	363,75Aa	660Aa	553Aa	677,5Aa	735ABa	1047Aa	1057,5Aa
5	200Aa	300Aa	374Aa	513,65Aa	645Aa	611,25Aab	652,5ABa	787,5Aab	885Aab
10	225Aa	270Aa	327,5Aa	427,5Aa	515Aa	482,5Ab	365Ab	497,5Ab	635Ab
	DMS						415,87		
	Média Geral						531,68		
	CV(%)						46,48		

Tratamentos com médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si, pelo Teste Tukey a 5% de significância. CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa.

Ao analisar a Tabela 10 percebe-se que na intensidade baixa não houve diferença significativa do uso da palha ao contrário das intensidades elevadas, pois o aumento da quantidade de palha sobre o solo resulta em maior proteção contra o impacto direto das gotas da chuva, uma vez que as condições de preparo e cobertura do solo afetam significativamente sua rugosidade e, por conseguinte, as perdas de água e solo (SILVA et al., 2005; CARVALHO FILHO et al., 2007; LEITE et al., 2009; MARTINS FILHO et al., 2009).

Pinheiro et al. (2018), ao analisarem eficiência da cobertura vegetal na redução das perdas de água e solo no município de Iguatu, observaram que a cobertura ocasionou menores perdas de solo e água em relação a solos expostos.

A Figura 13 apresenta a análise dos resíduos da regressão múltipla. Em relação à normalidade, os dados apresentam homogeneidade na variância. Isso pode ser observado no gráfico de abaixo visto que apresentam um padrão próximo da normalidade. Pode-se chegar a mesma conclusão observando seu histograma.

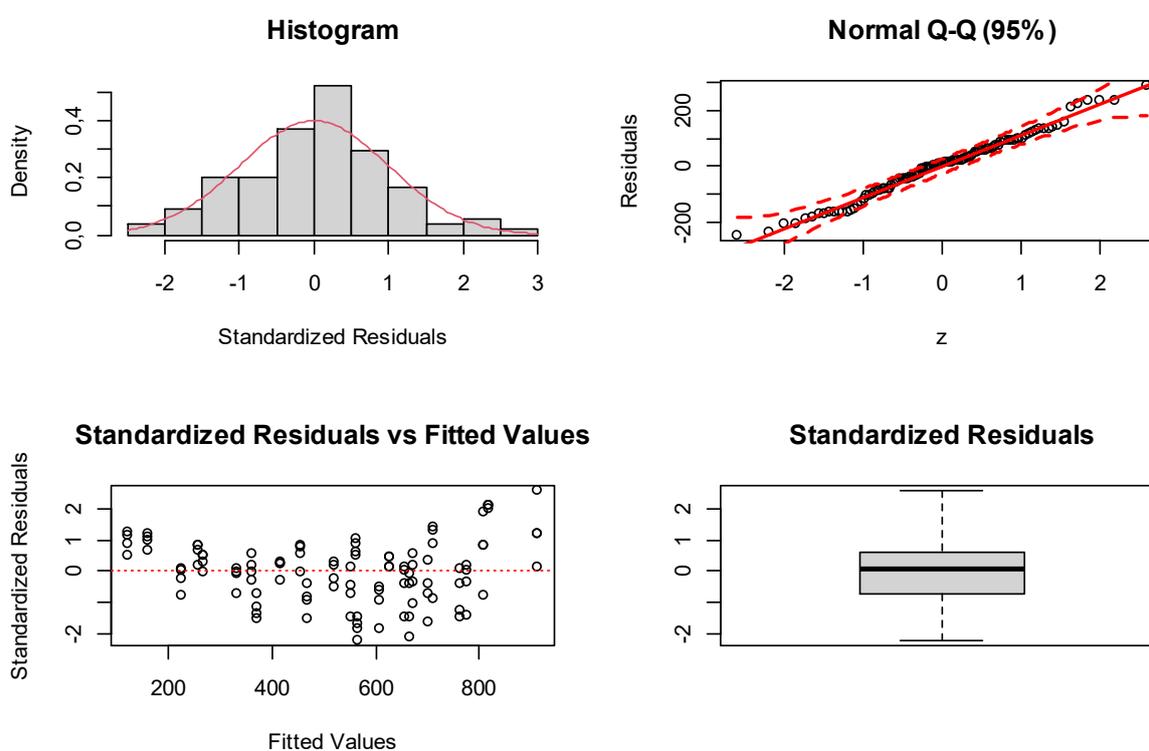


Figura 13: Análise dos resíduos da regressão linear múltipla.

Diante das constatações acima, tem-se indícios de normalidade. Portanto, a análise de variância pode ser utilizada para verificar a qualidade do modelo ajustado. Denota-se a variância na Tabela 11.

Tabela 11: Análise de variância (ANOVA) das perdas de água

	G.L.	SQ	QM	Fc	Pr(>F)
X1	1	798005,6	798005,6	62,72848	$2,75 \cdot 10^{-12}$
X2	1	353816,4	353816,4	27,81229	$7,31 \cdot 10^{-07}$
X3	1	3699525	3699525	290,807	$6,78 \cdot 10^{-32}$
Resíduos	104	1323045	12721,58		

G.L.: Graus de Liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: valor de F calculado; Pr(>F): probabilidade de ser maior que o F tabelado; X1: Quantidade de palha; X2: Declividade; X3: Intensidade de chuva.

Como $Pr < 0,05$ existe diferença entre os tratamentos, ou seja, existe efeito significativo das variáveis explicativas sobre a variável resposta. Isto significa que, a quantidade de palha, a declividade e a intensidade de chuva influenciam as perdas de água por escoamento superficial. Os dados assemelham-se aos de Castro et al. (2021) que modelaram as perdas de água por erosão em um Latossolo argiloso sob sistema plantio direto.

Por meio dos coeficientes do modelo na Tabela 12, o modelo matemático de predição da infiltração é dado pela Equação (26), chegando a explicar 99% da variabilidade presente nos dados. Silva et al. (2021), determinaram um modelo com 98,5% de ajuste quando analisaram a taxa de matéria orgânica do solo em função dos atributos químico-físicos do solo.

$$I = -21,05X1 + 8,02X2 + 12,42X3 - 172,22 \quad (26)$$

Tabela 12: Coeficientes do modelo de regressão múltipla das perdas de água

	Estimativa	Erro padrão	Valor t	Pr(> t)
(Intercepto)	-172,223	48,53328	-3,54856	0,000583
X1	-21,0556	2,658486	-7,92013	$2,75 \cdot 10^{-12}$
X2	8,023532	1,521413	5,273736	$7,31 \cdot 10^{-07}$
X3	12,41639	0,728103	17,05306	$6,78 \cdot 10^{-32}$

X1: Quantidade de palha; X2: Declividade; X3: Intensidade de chuva.

Como houve repetições no experimento, se faz necessário o teste da falta de ajuste. Desse modo, obtém-se a Tabela 13, como $Pr > 0,05$ verifica-se que o modelo se ajusta bem aos dados com 5% de significância e apresenta boa qualidade.

Tabela 13: Teste da falta de ajuste

	Res.G.L.	SQR	G.L.	SQ	F	Pr(>F)
1	104	1323045				
2	101	1248697	3	74347,61	2,004519	0,118109

Res.G.L.: Grau de liberdade dos resíduos; SQR: Soma residual dos quadrados; G.L.: grau de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; F: valor de F calculado; Pr(>F): probabilidade de ser maior que o F tabelado.

Tendo em vista que as variáveis intensidade e declividade, de acordo com a PCA, possuem maior correlação com as perdas de água apresenta-se a ANOVA da regressão com apenas essas variáveis, disposta na Tabela 14.

Tabela 14: Análise de variância (ANOVA) das perdas de água com duas variáveis

	G.L.	SQ	QM	Fc	Pr(>F)
X2	1	353816,4	353816,4	17,51525	5,94.10 ⁻⁰⁵
X3	1	3699525	3699525	183,1405	9,32.10 ⁻²⁵
Resíduos	105	2121050	20200,48		

G.L.: Graus de Liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: valor de F calculado; Pr(>F): probabilidade de ser maior que o F tabelado; X2: Declividade; X3: Intensidade de chuva.

Como $Pr < 0,05$ existe diferença entre os tratamentos, ou seja, existe efeito significativo das variáveis explicativas sobre a variável resposta. Isto significa que, existe efeito significativo da declividade e da intensidade de chuva sobre as perdas de água por escoamento superficial. Silva e Souza (2019) denotaram que as perdas de água estão correlacionadas à dinâmica fluvial como regime hídrico, declividade, composição granulométrica do solo. Alves et al. (2020) destacam que maiores declividades, em conjunto com a predominância de agricultura intensiva faz com que a bacia hidrográfica fique suscetível a perda considerável de solos, principalmente no caso de ocorrência de chuvas intensas.

Por meio dos coeficientes do modelo na Tabela 15, o modelo matemático de predição da infiltração é dado pela Equação (27), chegando a explicar 99% da variabilidade presente nos dados.

$$I = 8,02X_2 + 12,42X_3 - 277,5 \quad (27)$$

Tabela 15: Coeficientes do modelo de regressão múltipla das perdas de água com duas variáveis

	Estimativa	Erro padrão	Valor t	Pr(> t)
(Intercepto)	-277,501	58,81905	-4,71788	$7,38 \cdot 10^{-06}$
X2	8,023532	1,917156	4,185122	$5,94 \cdot 10^{-05}$
X3	12,41639	0,917494	13,53294	$9,32 \cdot 10^{-25}$

X2: Declividade; X3: Intensidade de chuva.

Como houve repetições no experimento, se faz necessário o teste da falta de ajuste. Desse modo, obtém-se a Tabela 16, como $Pr > 0,05$ verifica-se que o modelo se ajusta bem aos dados com 5% de significância e apresenta boa qualidade.

Tabela 16: Teste da falta de ajuste com duas variáveis

	Res.G.L.	SQR	G.L.	SQ	F	Pr(>F)
1	105	2121050				
2	103	2069232	2	51817,81	1,289665	0,279771

Res.G.L.: Grau de liberdade dos resíduos; SQR: Soma residual dos quadrados; G.L.: grau de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; F: valor de F calculado; Pr(>F): probabilidade de ser maior que o F tabelado.

Desse modo, destaca-se na Figura 14 o comportamento dos dados dessas variáveis em relação às perdas de água. Nota-se que em declividades mais acentuadas, em conjunto com intensidades mais elevadas, houve maiores perdas de água por escoamento superficial.

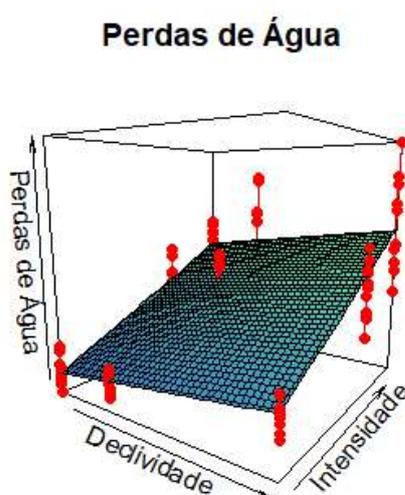


Figura 14: Gráfico 3D da intensidade e declividade versus perda de água.

Os dados corroboram com os Medeiros et al. (2020) que observaram concentração maior de processos erosivos concentrados em pontos mais baixos da bacia onde ocorre a presença de declividade mais acentuada.

4.2. Perda de solo

A Tabela 17 apresenta a estatística descritiva das perdas de solo levando em consideração as 80 amostras. A amplitude dos dados, calculada pela diferença entre os valores máximo e mínimo, é alta o que pode implicar em elevada dispersão dos dados. No entanto, por levar em consideração apenas estes dois valores, é importante a avaliação das demais medidas avaliadas.

Tabela 17: Estatística descritiva das perdas de solo

Estatística	Perdas de solo (g/min)	Declividade (3%)	Declividade (8%)	Declividade (20%)
Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,01
1º Quartil	0,05	0,03	0,05	0,06
Mediana	0,09	0,07	0,09	0,12
3º Quartil	2,36	0,45	1,55	5,16
Média	2,78	0,89	1,71	5,72
Máximo	38,75	4,10	9,20	38,75
Variância	52,42	2,55	9,03	134,21
Desvio Padrão	7,24	1,60	3,00	11,58
CV (%)	259,88	180,09	175,50	202,56
Assimetria	4,08	1,89	1,74	2,35
Curtose	17,28	2,32	1,71	4,37

CV: coeficiente de variação.

Observa-se na Tabela 17 que o coeficiente de variação foi muito alto, (Pimentel Gomes, 1985), mostrando a heterogeneidade dos dados. O que já era esperado para o conjunto geral dos dados, já que as alterações nas variáveis independentes foram relevantes, ou seja, o alto coeficiente de variação pode ser explicado, visto que para a estatística descritiva foram levados em consideração todos os dados coletados. Assim, pode ocorrer discrepância nos valores das perdas de solo uma vez que obtiveram alterações no volume coletado quando em precipitações mais elevadas.

Visto o coeficiente de assimetria positivo espera-se que a cauda do lado direito da densidade de probabilidade seja maior que a do lado esquerdo. Ainda, a curtose observada foi positiva, evidenciando distribuição platicúrtica, isto é, possui a curva da função de distribuição mais achatada que a distribuição normal.

Ao analisar o boxplot das perdas de solo, Figura 15, percebe-se a mediana próxima ao primeiro quartil o que indica assimetria positiva dos dados, roborando com seu coeficiente de assimetria, indicando que a maioria dos dados de perdas de solo concentram-se no intervalo próximo dos seus valores mínimos.

Os outliers são encontrados na porção em que ocorre maior taxa de precipitação, sem cobertura vegetal e maior declividade, visto que isso influencia para maior perda de solo por escoamento superficial.

O aumento das perdas em conjunto a declividade do terreno elevada se deve ao desobramento da capacidade erosiva da enxurrada nos declives mais acentuados, decorrente do crescimento de sua velocidade, especialmente quando o solo é intensamente mobilizado e apresenta baixa cobertura superficial ficando sujeito a formação de sulcos, selos e, ou crostas, os quais dificultam a infiltração de água no solo e favorecem o escoamento superficial (COGO, LEVIEN, SCHWARZ, 2003).

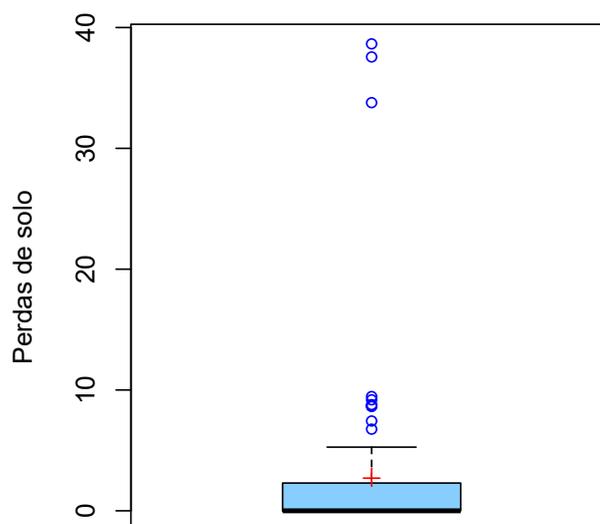


Figura 15: Boxplot das perdas de solo.

A Figura 16 apresenta o boxplot das perdas de solo em função da palha, declividade e precipitação. Observa-se que o aumento da quantidade de palha na superfície foi responsável pela diminuição das perdas de solo, corroborando com os resultados obtidos por Dechen et al. (2015) em suas pesquisas, que quanto maior a cobertura do solo, menores foram as perdas de água, solo e nutrientes. Miguel et al.

(2014) também observaram resultados significativos na diminuição de taxas de perdas de solo em solos cobertos.

Nota-se que quanto maior a declividade maior foram as perdas de solo por escoamento superficial. Ferreira et al. (2021), com o objetivo de as monitorar e identificar para calibrar o modelo Water Erosion Prediction Project (WEPP), resultaram em perdas superiores nas áreas com classes de declividades de 25% quando comparadas as de 12%. Tais resultados concordam com Nachtigall et al. (2020), ao avaliar a sazonalidade agroclimática em suas estimativas por meio da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE).

Ao denotar o efeito da precipitação, percebe-se maior perda de solo nas maiores intensidades de chuva. Bellinaso e Schneider (2019) observaram que as mesmas se acentuam cada vez mais correlacionadas a aumentos proporcionais do índice de erosividade da chuva e da intensidade da chuva.

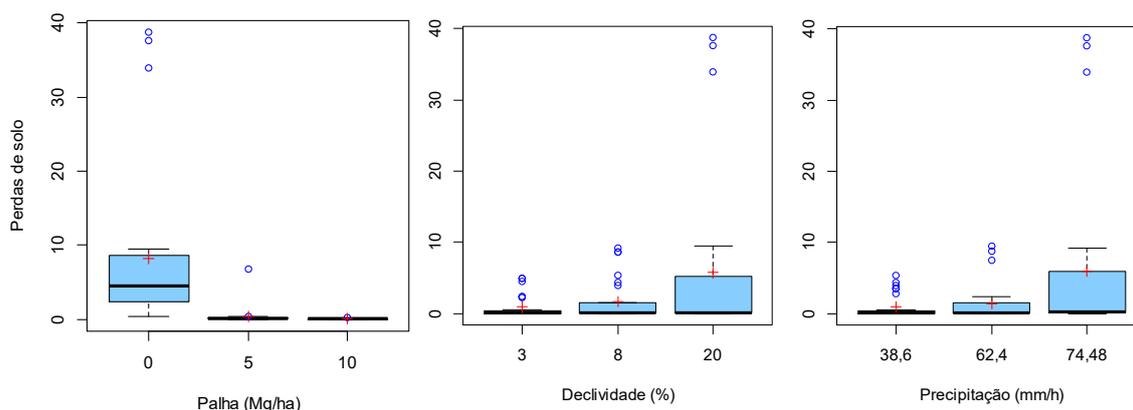


Figura 16: Boxplot das perdas de solo em função da palha, declividade e precipitação.

Ao relacionar as variáveis entre si, pode-se verificar a correlação existente entre elas a partir da correlação linear de Pearson.

A Figura 17 apresenta a Matriz da Correlação Linear de Pearson. De acordo com a Figura 17, admitindo-se Y para perdas de solo, X1 para quantidade de palha, X2 para declividade e X3 para a intensidade de chuva, denota-se correlação negativa entre a quantidade de palha e as perdas de solo, ou seja, quanto maior a quantidade de palha na superfície do solo, menores as perdas. A importância da cobertura do solo na redução das taxas de erosão também foi relatada em estudo de Wang et al. (2016)

na China dos anos 80 até 2010 em que as maiores taxas de erosão estão relacionadas a ecossistemas frágeis que sofreram mudanças no uso terra. Santos e Santos (2012) observaram que a cobertura superficial representou um obstáculo mecânico ao livre escoamento superficial da água, ocasionando diminuição da velocidade e da capacidade de desagregação e transporte de sedimentos.

Ao relacionar as perdas de solo com a declividade, percebe-se correlação positiva, ou seja, quanto maior a declividade maior as perdas. Barros et al. (2018) encontraram maiores perdas nas áreas de maior declividade onde o escoamento superficial alcança maior velocidade. Magalhães Filho, Ayres e Sobrinho (2014) também denotaram que as áreas críticas, com maior risco à erosão, estão localizadas nas áreas com declividade acentuada e grandes comprimentos de rampa.

Quando se compara as perdas de solo com a precipitação percebe-se correlação positiva, ou seja, quanto maior a precipitação maior as perdas de solo por escoamento superficial. Costa et al. (2015) observaram que a maior intensidade de precipitação, com $106,68 \text{ mm h}^{-1}$, ocasionou maior percentagem de escoamento, com 86% do total precipitado, ou seja, 86% escorre sobre a superfície. Eltz et al. (2013) concluíram que o padrão hidrológico avançado é o de maior ocorrência tanto em número quanto em volume para o potencial erosivo das chuvas.

O maior valor absoluto da correlação linear foi da variável cobertura vegetal (X1), com $r = 0,5$ comparada com variável declividade (X2) e precipitação (X3) que resultaram em $r = 0,3$. Portanto, a cobertura vegetal do solo teve maior influência sobre as perdas de solo, comparada a outros fatores analisados.

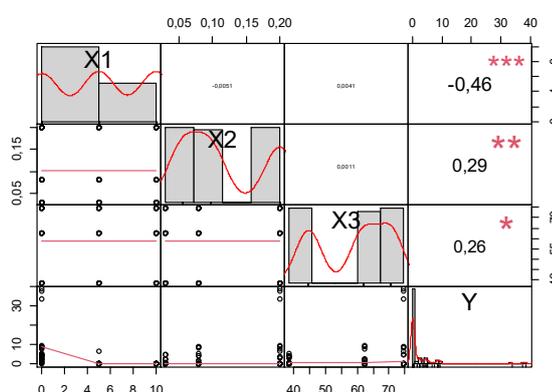


Figura 17: Matriz da Correlação Linear de Pearson.

Os maiores valores de perda do solo apresentados para a área de estudo estão relacionados às áreas de encostas de maior declividade e ausência de cobertura

vegetal (VIEL; ROSA; HOFF, 2017). Corroborando com os estudos de Thomazini, Azevedo e Mendonça (2012) que obtiveram maiores perdas em virtude da menor cobertura do solo e maior declividade do local estudado.

A Tabela 18 apresenta o resultado do Teste Tukey dos desdobramentos da quantidade de palha versus declividade do terreno dentro de cada intensidade de chuva.

Tabela 18: Teste de Tukey do Planejamento Fatorial da perda de solo

Palha	Intensidade 1			Intensidade 2			Intensidade 3		
	Declividade (%)			Declividade (%)			Declividade (%)		
	3	8	20	3	8	20	3	8	20
0	0,41Aa	4,52Aa	3,28Aa	2,34Aa	1,51Aa	8,57Aa	4,83Ba	8,84Ba	36,77Aa
5	0,05Aa	0,05Aa	0,06Aa	0,04Aa	0,08Aa	0,12Aa	0,15Aab	0,19Aab	2,49Ab
10	0,018Aa	0,01Aa	0,02Aa	0,03Aa	0,04Aa	0,05Aa	0,09Aab	0,06Aab	0,06Ab
	DMS						13,76		
	Média Geral						2,78		
	CV(%)						252,79		

Tratamentos com médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si, pelo Teste Tukey a 5% de significância. CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa.

Ao analisar a Tabela 18 percebe-se que a cobertura do solo auxilia na redução do escoamento e perdas de solo comparativamente ao solo descoberto, uma vez que a cobertura age tanto na dissipação da energia cinética da chuva como na retenção de água no solo e na absorção/intercepção da água da chuva (DE LIMA et al., 2020).

Almeida et al. (2016) analisaram a acentuada redução das perdas de solo devido a maior cobertura vegetal proporcionada pela soja. Consequentemente, justificou o aumento das perdas de solo pela menor cobertura do solo.

A Figura 18 apresenta a análise dos resíduos da regressão múltipla. Em relação à normalidade, os dados apresentam homogeneidade na variância. Isso pode ser observado no gráfico de resíduos visto que os resíduos apresentam um padrão próximo da normalidade. Pode-se chegar a mesma conclusão observando o histograma dos resíduos.

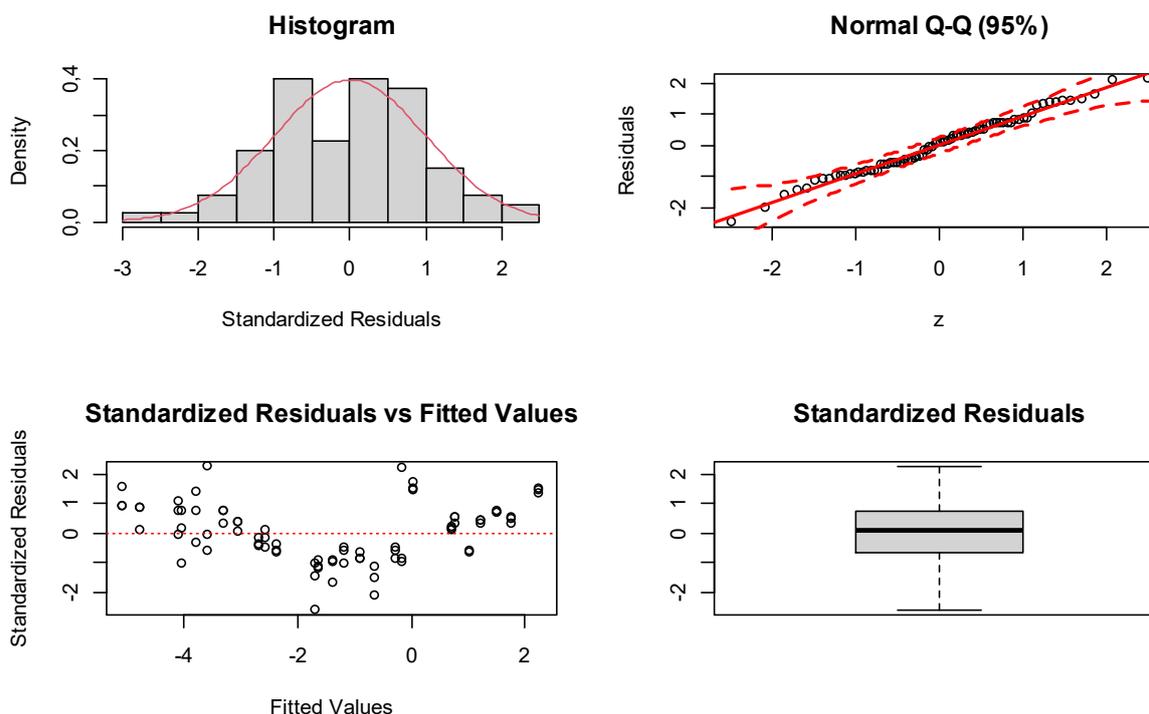


Figura 18: Análise de resíduos da regressão múltipla.

Diante das constatações acima, tem-se indícios de normalidade. Portanto, a análise de variância pode ser utilizada para verificar a qualidade do modelo ajustado. Denota-se a variância na Tabela 19 realizada a transformação logarítmica.

Tabela 19: Análise de variância (ANOVA) das perdas de solo com transformação logarítmica

	G.L.	SQ	QM	Fc	Pr(>F)
X1	1	306,2855	306,2855	343,742	$6,31 \cdot 10^{-30}$
X2	1	15,23463	15,23463	17,09772	$9,06 \cdot 10^{-05}$
X3	1	30,81573	30,81573	34,58428	$1,03 \cdot 10^{-07}$
Resíduos	76	67,71851	0,891033		

G.L.: Graus de Liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: valor de F calculado; Pr(>F): probabilidade de ser maior que o F tabelado; X1: Quantidade de palha; X2: Declividade; X3: Intensidade de chuva.

Como $Pr < 0,05$ existe diferença entre os tratamentos, ou seja, existe efeito significativo das variáveis explicativas sobre a variável resposta. Isto significa que, existe efeito significativo da quantidade de palha, da declividade e da intensidade de chuva sobre as perdas de solo por escoamento superficial. No trabalho de Volk e Cogo (2014), a partir do qual avaliaram as perdas de solo e água por erosão por meio de

chuva simulada de intensidade de chuva de 64 mm h⁻¹, utilizaram resíduos culturais de milho e observaram que houve diminuição na perda total de solo, tendendo ao valor nulo.

Por meio dos coeficientes do modelo com transformação logarítmica dispostos na Tabela 20, o modelo matemático de predição das perdas de solo é dado pela Equação (28), chegando a explicar 91% da variabilidade presente nos dados. Ramos et al. (2014) utilizaram, ao estudar a influência das condições de superfície na erosão hídrica, modelos exponenciais para realizar os seus ajustes e concluíram que as perdas de solo reduziram de modo considerável com o aumento da cobertura e da rugosidade superficial.

Mello, Bueno e Pereira (2006) ao estudarem a variabilidade espacial de perdas de solo denotaram que os semivariogramas se ajustaram aos modelos exponencial e esférico, com coeficientes de determinação de 43 a 95%. De acordo com Salviano, Vieira e Sparovek (1998) e Souza (2001) os ajustes aos modelos esférico e exponencial são os de maior ocorrência para as variáveis do solo.

$$I = \exp(-0,80X1 + 0,29X2 + 0,12X3 - 3,40) \quad (28)$$

Tabela 20: Coeficientes do modelo de regressão múltipla das perdas de solo

	Estimativa	Erro padrão	Valor t	Pr(> t)
(Intercepto)	-3,40063	2,941413	-4,368	3,91.10 ⁻⁰⁵
X1	-0,80472	0,16246	-18,5428	6,25.10 ⁻³⁰
X2	0,290563	0,092159	4,128507	9,27.10 ⁻⁰⁵
X3	0,124043	0,044094	5,88084	1,03.10 ⁻⁰⁷

X1: Quantidade de palha; X2: Declividade; X3: Intensidade de chuva.

Como houve repetições no experimento, se faz necessário o teste da falta de ajuste. Desse modo, obtém-se a Tabela 21 dos dados. Como Pr < 0,05 verifica-se que o modelo não se ajusta com exatidão aos dados ao nível de 5% de significância. Desse modo, denota-se alta variabilidade dos dados e a necessidade de maior quantidade de repetições.

Tabela 21: Teste da falta de ajuste com transformação logarítmica

	Res.G.L.	SQR	G.L.	SQ	F	Pr(>F)
1	76	67,71851				
2	73	34,58472	3	33,13379	23,31248	1,09.10 ⁻¹⁰

Res.G.L.: Grau de liberdade dos resíduos; SQR: Soma residual dos quadrados; Df: grau de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; F: valor de F calculado; Pr(>F): probabilidade de ser maior que o F tabelado.

Tendo em vista que as variáveis intensidade e declividade, de acordo com a PCA, possuem maior correlação com as perdas de solo, apresenta-se a ANOVA da regressão com apenas essas variáveis, disposta na Tabela 22.

Tabela 22: Análise de variância (ANOVA) das perdas de solo com duas variáveis

	G.L.	SQ	QM	Fc	Pr(>F)
X2	1	353,7583	353,7583	7,749799	0,006756
X3	1	272,7446	272,7446	5,975029	0,016796
Resíduos	77	3514,851	45,64741		

G.L.: Graus de Liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: valor de F calculado; Pr(>F): probabilidade de ser maior que o F tabelado; X2: Declividade; X3: Intensidade de chuva.

Como $Pr < 0,05$ existe diferença entre os tratamentos, ou seja, existe efeito significativo das variáveis explicativas sobre a variável resposta. Isto significa que, existe efeito significativo da declividade e da intensidade de chuva sobre as perdas de solo por escoamento superficial. Lima, Ferreira e Ferreira (2018) denotaram em seu estudo sobre as perdas superficiais de solo que os locais com declive acentuado possuem maior potencial erosivo. Analisaram também que os meses que possuem maior índice pluviométrico contribuíram para maior potencial erosivo.

Pinto et al. (2020) ao analisarem as perdas de solo por meio do Método de Erosão Potencial denotaram que as áreas sem cobertura vegetal e com relevo íngreme apresentaram as maiores taxas de perda, com cerca de 1,0% da sub-bacia com perdas acima do limite de tolerância de perda de solo.

Por meio dos coeficientes do modelo na Tabela 23, o modelo matemático de predição das perdas de solo é dado pela Equação (29), chegando a explicar 90% da variabilidade presente nos dados.

$$I = 0,29X2 + 0,12X3 - 7,44 \quad (29)$$

Tabela 23: Coeficientes do modelo de regressão múltipla das perdas de solo com duas variáveis

	Estimativa	Erro padrão	Valor t	Pr(> t)
(Intercepto)	-7,44667	3,22882	-2,30631	0,023784
X2	0,292874	0,105304	2,781222	0,006806
X3	0,123156	0,050383	2,444387	0,016796

X2: Declividade; X3: Intensidade de chuva.

Como houve repetições no experimento, se faz necessário o teste da falta de ajuste. Desse modo, obtém-se a Tabela 24, como $Pr > 0,05$ verifica-se que o modelo se ajusta com exatidão aos dados ao nível de 5% de significância.

Tabela 24: Teste da falta de ajuste com duas variáveis

	Res.G.L.	SQR	G.L.	SQ	F	Pr(>F)
1	77	3514,851				
2	75	3368,51	2	146,3408	1,629141	0,20296

Res.G.L: Grau de liberdade dos resíduos; SQR: Soma residual dos quadrados; G.L.: grau de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; F: valor de F calculado; Pr(>F): probabilidade de ser maior que o F tabelado.

Desse modo, destaca-se na Figura 19 o comportamento dos dados dessas variáveis em relação às perdas de solo. Nota-se que em declividades mais acentuadas em conjunto com intensidades mais elevadas houve maiores perdas de solo por escoamento superficial.

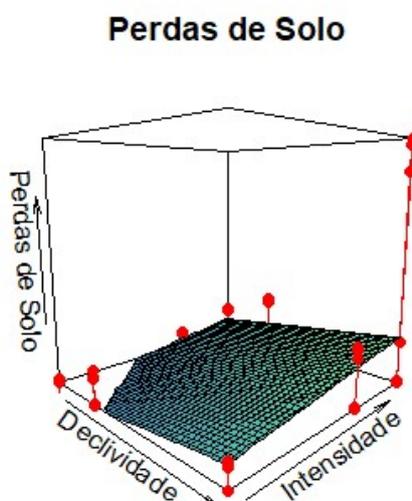


Figura 19: Gráfico 3D da intensidade e declividade versus perda de solo.

Os dados corroboram com os Cardozo et al. (2020) que concluíram que declividades menores geram menor velocidade de escoamento. Santos et al. (2019) concluíram ao analisarem as perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo que o relevo das parcelas teve influência em seus resultados no sistema de plantio direto, obtendo maiores perdas durante as três safras independentemente da cobertura vegetal.

5. CONCLUSÕES

A precipitação teve maior influência sobre as perdas de água comparada a outros fatores analisados ao passo que a declividade teve menor influência. O modelo ajustado conseguiu explicar 99% da variabilidade dos dados, com todos os coeficientes significativos a 5%.

A quantidade de palha sobre a superfície teve maior influência sobre as perdas de solo, comparada a outros fatores analisados. O modelo ajustado apresenta boa qualidade, chegando a explicar 91% da variabilidade dos dados. Porém, devida à alta variabilidade dos dados, o modelo não se ajustou com exatidão aos dados analisados ao nível de 5% de significância.

Contudo, na PCA a precipitação e declividade apresentaram correlações maiores na perda de solo, sendo assim, o modelo ajustado com essas duas variáveis apresenta boa qualidade, chegando a explicar 90% da variabilidade se ajustando com exatidão aos dados analisados ao nível de 5% significância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAD, G.; TORRES C. V. Regressão múltipla stepwise e hierárquica em psicologia organizacional: aplicações, problemas e soluções. **Estudos de Psicologia**, n. 7 (Número Especial), p. 19-29, 2002.
- ALMEIDA, W. S. et al. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1110-1119, 2016.
- ALVES, A. I. et al. Análise de componentes principais aplicada à ciência de alimentos: estudo de caso com pequi. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, 2016.
- ALVES, J. P. I.; SILVA, S. A. Análise da Distribuição Espacial do Potencial Natural de Erosão de Quatro Áreas com Diferentes Topografias. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 3, p. 199-207, 2020.
- ALVES, W. S. et al. Morfometria da Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 7, p. 3636-3658, 2020.
- 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**, v. 5, n. 1, p. 124-130, 2001.
- ARAÚJO, J. V. G. A.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. Desenvolvimento de um código em Python para geração de matrizes de correlação de Pearson com laços a partir de “n” variáveis tomadas duas a duas. **XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha**, Rio de Janeiro, 2019.
- AVANZI, J. C. et al. Calibração e aplicação do modelo MUSLE em uma microbacia hidrográfica nos Tabuleiros Costeiros brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 563-569, 2008.
- BARCELOS, A. A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um Latossolo Vermelho-Escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 35-43, 1999.
- BARROS, E. N. S. et al. Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, p. 1-9, 2018.
- BELLINASSO, T. B.; SCHNEIDER, V. E. Perdas de solo para condição da parcela de wischmeier: estimativa para diferentes tipos de solo do estado do Rio Grande Do Sul. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 11, p. 22709-22717, 2019.
- BERTOL, I. et al. Water infiltration in two cultivated soils in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 573-588, 2015.

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**, v. 36, p. 1905-1910, 2012.

BIAS, E. S. et al. Análise da eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial: uma aplicação na bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu, DF. **Revista Geociências**, v. 31, p. 411-429, 2012.

BONINI, A. K. et al. Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um latossolo sob estados de compactação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1543-1548, 2011.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito sequências de cultura e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p.91-98, 1990.

BRAMORSKI, J.; CRESTANA, S. Erosão hídrica em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo e chuva simulada. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 4, n. 2, p. 73-80, 2020.

BRANDÃO, V. S. et al. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. [s.l.] UFV, 2006.

BRANDÃO, V. S. et al. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 13-21, 2006.

BRIZZI, R. R.; SOUZA, A. P.; COSTA, A. J. S. T. Relação entre a infiltração da água nos solos e a estabilidade dos agregados em sistemas de manejos diferentes na bacia hidrográfica do Rio São Romão – Nova Friburgo/RJ. **Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 67, p. 304-321, 2018.

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**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1565-1575, 2014.

CAPP, E.; NIENOV, O. H. **Bioestatística quantitativa aplicada**. 260p. Porto Alegre, 2020.

CARAMINAN, L. M.; FRUET, J. G. W.; GASPARETTO, N. V. L. Estabilidade de Agregados de Latossolos em Floresta Estacional Semidecidual, Paraná, Sul do Brasil. **Revista Geografia**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 439-455, 2021.

CARDOZO, F. A. C. et al. Caracterização da Bacia do Arroio Castelhana: disponibilidade hídrica, riscos de inundações e interação com a cidade de Venâncio Aires/RS. **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 24, n. 2, p. 148-159, 2020.

CARVALHO, A. V. et al. Arranjos produtivos locais de agricultura temporária no estado do Pará: uma aplicação do modelo de análise de componentes principais. **Revista Agroecossistemas**, v. 9, n. 2, p. 19-42, 2017.

CARVALHO, J. L. N. et al. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. **GCB bionergy**, v. 9, n. 7, p. 1181-1195, 2016.

CARVALHO FILHO, A. et al. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.229-237. 2007.

CASTRO, M. B. S. et al. Modelagem matemática para predição da perda de água por erosão em um Latossolo argiloso sob sistema plantio direto. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 10, n. 2, p. 13-22, 2021.

CECÍLIO, R. A. et al. Modelo para estimativa da infiltração de água e Perfil de umidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 37, p. 411-421, 2013.

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**, v. 27, p. 743-753, 2003.

COSTA, C. D. O. et al. Estimativa das perdas de solo e deposição de sedimentos em uma sub-bacia hidrográfica sob processo de degradação ambiental. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 9, n. 1, p. 67-86, 2015.

COSTA, N. R. et al. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 72 v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.

COSTA, E. J. O. et al. Adsorção de fósforo em diferentes classes de solos do estado do Paraná. **VI Reunião Paranaense de Ciência do Solo – RPCS**, Ponta Grossa, 2019.

COSTA, E. M. B.; ARAÚJO, F. O. Avaliação do impacto do saneamento básico no desenvolvimento sócioeconômico do semiárido brasileiro através de análise de componentes principais. Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido. **Anais**, 2017.

COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Relação entre a cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas do cerrado. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 61-75, 2015.

CUNHA, J. L. X. L. et al. Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 11, p. 1021-1027, 2015.

DABRAL, P. P.; PANDEY, P. K. Models to estimate soil moisture retention limits and saturated hydraulic conductivity. **Journal of Indian Water Resource Society**, v. 36, n. 1, p. 50-55, 2016.

DALMAGO, G. A. et al. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.780-790, 2010.

DE CARVALHO, A. V. et al. Arranjos produtivos locais de agricultura temporária no estado do Pará: uma aplicação do modelo de análise de componentes principais. **Agroecossistemas**, v. 9, n. 2, p. 19 – 42, 2017.

DE CARVALHO, D. F. et al. Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 708-717, 2012.

DECHEN, S. C. F. et al. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224–233, 2015.

DE LIMA, C. A. et al. Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 531-542, 2020.

DE MORAIS, F. Infiltração – uma variável geomorfológica. **Cadernos de Geografia**, Belo Horizonte, v. 22, n. 38, p. 73-87, 2012.

DE VITA, P. et al. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. **Soil & Tillage Research**, v.92, p.69-78, 2007.

DEL CARLO, C. F. C. et al. Infiltração em bacias de retenção na bacia do areal em Taubaté – SP. **Revista Técnica Ciências Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2020.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Estimativa de perda de solos por erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão das Perobas (SP) nos anos 1962 e 2011. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, n. 1, p. 110-131, 2019.

DRESCHER, M. S. et al. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 159-168, 2016.

EDUARDO, E. N. et al. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 796–803, 2013.

ELTZ, F. L. F. et al. Potencial erosivo e características das chuvas de São Gabriel, RS, de 1963 a 1993. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.647–654, 2013.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 485-493, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 5. Brasília, 2018. Brasília, EMBRAPA - NLCS/SBCS, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula...Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FABRIZZI, K. P. et al. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. **Soil & Tillage Research**, v.81, p.57-69, 2005.

FAWZY, H. E.; BASHA, A. M.; BOTROSS, M. N. Estimating a mathematical formula of soil erosion under the effect of rainfall simulation by digital close range photogrammetry technique. **Alexandria Engineering Journal**, New York, 2020.

FERREIRA, A. M. et al. Vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na sub-bacia do ribeirão do cipó – Poços de Caldas/MG. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Unochapecó**, v. 17, n. 1, 2020.

FERREIRA, A. M. et al. Estimativa da erosão hídrica do solo pelo modelo Water Erosion Prediction Project na Sub-Bacia do Córrego do Gigante, sul de Minas Gerais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 471–483, 2021

FERREIRA, V. H. F. A.; JÚNIOR, C. G.; FILHO, J. D. V. S. Precificação de ações no setor da construção civil. **Revista Razão Contábil & Finanças**, F, Fortaleza, v. 11, n. 1, 2020.

FERREIRA, C.F. et al. Gypsum effects on eucalyptus nutrition in subtropical Brazil. **Brazilian of Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n.5, p.25160-25177, 2020.

FERREIRA, A. O. et al. Influência da declividade e de níveis de cobertura do solo no processo de erosão com chuva simulada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 5, n. 5, p. 182-190, 2010.

FILHO, B. C. et al. Susceptibilidade dos solos à erosão na microbacia do Córrego Fonseca, região serrana do estado do Rio de Janeiro. Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - GEONORDESTE 2014. **Anais**, Aracaju, Brasil, p. 18-21, 2014.

FILIZOLA, H. F.; LUIZ, A. J. B. Tempo de cultivo contínuo de cana-de-açúcar e influência nas características físicas e carbono orgânico de latossolos vermelhos distróficos em Guaíra/SP. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 20, n. 2, 2018.

FLANAGAN, D. C.; FOSTER, G. R.; MOLDENHAUER, W. C. Storm pattern effect on infiltration, runoff, and erosion. Trans. **ASAE**, v. 31, p. 414-420, 1987.

FLASH, C. W.; ALVES, E. A. C.; MEURER, M. Taxa de infiltração da água e resistência mecânica à penetração em solos submetidos a diferentes usos na região da serra de sudeste/RS. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 73, p. 223-242, 2020.

FURQUIM, L. C. et al. Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivo integrados em área de pastagem degradada. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 5, p. 82-95, 2020..

GALARZA, L. H. W.; BONUMÁ, N. B.; FRANCO, A. C. L. Combinação de um modelo de dinâmica de sistemas e sig na estimativa de perda do solo. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 1-8, 2015.

GARCIA, Y. M. et al. Declividade e potencial para mecanização agrícola da bacia hidrográfica do Ribeirão Pederneiras - Pederneiras/SP. **Bioeng - Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 14, n. 1, p.62-72, 2020.

GUIMARÃES, R. M. L. et al. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. **Soil & Tillage Research**, v.127, p.92-99, 2013.

HACHUM, A. Y.; ALFARO, J. F. Water infiltration and runoff under rain applications. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, p. 960-966, 1977.

HELENA, B. et al. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, Amsterdam, v.34, n.3, p.807-16, 2000.

HERRADA, M. R.; LEANDRO, W. M.; FERREIRA, E. P. DE B. Legumes not associated and associated with millet in different soil management systems in organic bean. **Terra Latinoamericana**, v. 35, n. 4, p. 293–299, 2017.

HOFFMANN, R. **Análise de Regressão: uma introdução à econometria**. 4. ed. Piracicaba-Sp: Hucitec, 2016. 303p.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S - Engineering And Science**. UFMG, p. 83-90, 2016.

HOW, B. S.; LAM, H. L. Sustainability evaluation for biomass supply chain synthesis: Novel principal component analysis (PCA) aided optimisation approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 189, p. 941-961, 2018.

IGAWA, T. K.; MACIEL, M. N. M. Vulnerabilidade natural à perda de solo na bacia hidrográfica do rio Marapanim, Nordeste Paraense. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 15 n. 27; p. 167-180, 2018.

IORI, P. et al. Influence of field slope and coffee plantation age on the physical properties of a red-yellow latosol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 107-117, 2014.

IVO, W. M. et al. Perdas de solo e água em sistemas de manejo da palhada da cana-de-açúcar. Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia. **Anais**, Maceió, 2018.

JARDIM, A. M. R. F. et al. Modelagem da perda de solo por erosão hídrica em Planossolo Háplico. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 6826-6834, 2020.

JENNINGS, G. O.; JARRET, A. R.; HOOVER, J. R. Evaluating the effect of puddling on infiltration using the Green Ampt equation. *Trans. ASAE*, v. 31, p. 761-768, 1988.

JESUS, C. D. et al. Automação de sistema de irrigação Baseado na umidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 4507-4511, 2020.

JOHNSON; WICHERN. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 4ª Edição, Prentice-Hall, Nova York, 1998.

JORDÁN, A. et al Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semiarid conditions in southern Spain. **Catena**, v. 81, p. 77-85, 2010.

JUNIOR, J. J. S. et al. Estimativa das propriedades hidráulicas de solos tropicais com método inverso e dados de campo do infiltrômetro de tensão. **Rev. Ambient. Água**, v. 15, n. 3, 2020.

JUNIOR, M. C. D. A.; CASTRO, P. A. L.; SANTOS, G. O. Taxa de infiltração de água no solo em diferentes usos do solo. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 2, p. 115-121, 2020.

JUNIOR, J. C. R.; STINGELIN, F. S.; BARROS, G. V. P. Infiltração de água em diferentes condições de uso do solo em um câmpus da Universidade Federal de Sergipe. **XII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe**, 2019.

JUNIOR, W. C. et al. Regressão linear múltipla e modelo Random Forest para estimar a densidade do solo em áreas montanhosas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1428-1437, 2016.

KAHLON, M. S.; LAL, R.; ANN-VARUGHESE, M. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. **Soil & Tillage Research**, St. Louis, v.126, p. 151-158, 2013..

KARAMI, A. et al. Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 148, p. 22-28, 2012.

KEESSTRA, S. et al. Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. **Science of The Total Environment**, v. 551–552, p. 357–366, 2016.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 21-29, 2015.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração da água. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v.13, n. 5, p. 3915-3925, 2014.

LE BISSONNAIS, Y. et al. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion. **Catena**, v. 62, p. 111-124, 2005.

LEITE, M. H. S. et al. Perdas de solo e nutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico Típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.21, n.3, p.689- 699, 2009.

LI, X.; NIU, J.; XIE, B. The effect of leaf litter cover on surface runoff and soil erosion in Northern China. **PLoS ONE**, v. 9, e107789, 2014.

LIMA, G. S. A.; FERREIRA, N. C. F.; FERREIRA, M. E. Modelagem da Perda Superficial de Solo para Cenários de Agricultura e Pastagem na Região Metropolitana de Goiânia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 4, 1510-1536, 2018.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V. D. F. Conhecendo os principais solos do PR - Abordagem para professores do ensino fundamental e médio. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Curitiba, v. 1, p. 3-15, 2012.

LISBOA, E. G. et al. Análise dos fatores sócios-ambientais e epidemiológicos em Ananindeua/PA, através do modelo de regressão linear múltipla, no período entre 2001 a 2017. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 65308-65321, 2020.

LONDERO, R. et al. Dependência espacial da fertilidade do solo sob plantio direto e suas relações com a produtividade da soja. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-8, 2020.

LOURENÇO, A. M.; MOTTA, M. F. B. Estudo do efeito da infiltração no fator de segurança de dois escoamentos da bacia do Ribeirão Guaratinguetá, SP. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, 2021.

MACHADO, L. T. S. et al. Influência da utilização de implementos agrícolas na infiltração acumulada e velocidade de infiltração básica. **XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica**, 2017.

MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; AYRES, F. M.; SOBRINHO, T. A. Integrando SIG e USLE para mapeamento da perda de solo em área de proteção ambiental. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 26, p. 552-559, 2014.

MANCUSO, M. A. et al. Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de solo em zona urbana. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 14, n.1, Edição Especial p. 2890–2998, 2014.

MANLY, B. F. J. (1986). **Multivariate Statistical Methods**. London: Chapman & Hall.

MARTINS, M. E. G. Coeficiente de determinação. **Revista Ciência Elementar**, v. 6, n. 1, 2018.

MARTINS, F. P.; SANTOS, E. L. Taxa de infiltração da água e a resistência do solo a penetração sob sistemas de uso e manejo. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 4, p. 28-40, 2017.

MARTINS FILHO, M. V. et al. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.8-18, 2009.

MARTINS, S. G. et al. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água cultivo de eucalipto e em mata atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, p. 517-526, 2010.

MAZURANA, M. et al. Soil susceptibility to compaction under use conditions in southern Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 1, p. 60-71, 2017.

MEDEIROS, G. F. et al. Mapeamento da susceptibilidade a erosão dos Materiais inconsolidados agravado pelo escoamento superficial na bacia do Rio Lontra – TO. **Journal of Business Technical Communication**. V. 16, n. 2, p. 40-53, 2020.

MELLO, C. R. DE et al. Agricultural watershed modeling: a review for hydrology and soil erosion processes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 1, p. 7–25, 2016.

MELLO, G. BUENO, C. R. P. PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 315-332, 2006.

MELO, M. T. S. et al. Estudo do Comportamento da Face de Taludes Protegidos por Geossintéticos Frente à Ação Pluviométrica. 2019, São Carlos. **IX Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental**. 2019.

MENDES, T. A. et al. Numerical evaluation of laboratory apparatuses for the study of infiltration and runoff. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos Brazilian Journal of Water Resources**, v. 25, e. 37, 2020.

MENEZES, R. S. et al. Infiltração de água no solo cultivado com milho-braquiária em área de contribuição de uma nascente. **Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão**, n. 10, 2018.

MIGUEL, P. et al. Identificação de fontes de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica de encosta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 585–598, 2014.

MONTENEGRO, A. A. de A. et al. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v. 109, p. 139-149, 2013.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Modelagem da dinâmica da água em sistemas de preparo de um Latossolo Vermelho. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 1, p. 142-152, 2018..

MORAIS, E. O. et al. Aplicação de modelos de regressão linear e não linear para estimativa de volume de biomassa e estoque de carbono. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 45621-45632, 2020.

MOREIRA, W. K. O. et al. Velocidade de Infiltração Básica da Água no Solo em Diferentes Agroecossistemas Amazônicos. **Agrarian academy**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 4, n. 7, p. 464, 2017.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I.; ADAMI, M. Análise de componentes principais da precipitação pluvial associada à produtividade de soja na Amazônia legal. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 574-588, 2018.

NACHTIGALL, S. D. et al. Modelagem espacial da erosão hídrica do solo associada à sazonalidade agroclimática na região sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 933–946, 2020.

NASCIMENTO, L. G. et al. Análise da velocidade de infiltração de água no solo por meio de anéis concêntricos na zona leste da cidade de Teresina –PI. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 15168-15178, 2020.

NERY, A. R. et al. Infiltração de água nos solos cultivados com palma forrageira e pastagem no IFCE campus Crato. **Acta Kariri Pesquisa e Desenvolvimento Crato/CE**, v. 2, n. 1, p. 56-61, 2017.

NETO, J. V. N. et al. Geologia de calcários do Tocantins e composição química de Latossolos e Neossolos quartzarênicos. **Revista Cereus**, v. 12, n. 1, p. 137-151, 2020.

NOGAROTTO, D. C.; LIMA, M. R. G.; POZZA, S. A. Análise de Componentes Principais para verificar relação entre variáveis meteorológicas e a concentração de MP10. **Holos**, v. 1, 2020.

OLIVEIRA, V. S. et al. Water infiltration in the soil in a watermelon plantation in southeast paraense. **Research, society and development**, v. 10, n. 6, 2021.

OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. L. N.; NETO, G. K. Escoamento superficial e perdas de solo em sub-bacia florestal, município de Eldorado do Sul, RS. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 58111-58132, 2020.

OLIVEIRA, A. H. et al. Water erosion in soils under eucalyptus forest as affected by development stages and management systems. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 1, p. 159-169, 2013.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R. Dinâmica da água em áreas de recarga de nascentes em dois ambientes na Região Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 59-67, 2020.

OLIVEIRA, F. F.; SANTOS, R. E. S.; ARAUJO, R. C. Processos Erosivos: Dinâmica, agentes, causadores e fatores condicionantes. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 5, n. 3, p. 60-83, 2018.

OLIVEIRA, L. C. de et al. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em uma estrada florestal na Serra Catarinense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 655-665, 2015.

OLIVEIRA, Z. B. et al. Perdas de água por escoamento superficial a partir de diferentes intensidades de chuvas simuladas. **Irriga, Botucatu**, v. 18, n. 3, p. 415-425, 2013.

ORTIZ, P. F. S. et al. Infiltração de água em Ultisol com diferentes tempos de produção de cana-de-açúcar no semiárido brasileiro. **Agropecuária Científica no - Semiárido**, Patos – PB, v. 16, n. 2, p. 107-113, 2020.

OUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo: correção do solo e adubação. **Embrapa**, Brasília, 2004.

OUYANG, W. Combined impacts of land use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. **Science of The Total Environment**, v. 613-614, p.798-809, 2018.

PANACHUKI, E. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1777-1785, 2011.

PANDEY, A. et al. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. **Catena**, Amsterdam, v. 147, p. 595-620, 2016.

PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S. C. A erosividade das chuvas na área de influência da UHE Amador Aguiar I, Bacia do Rio Araguari – MG. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 68, p. 186-199, 2018.

PEREIRA, J. S. **Avaliação das perdas de solos por erosão laminar na área de influenciada UHE Amador Aguiar I**. 2014. 170p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiente e Água**, v. 4, p. 188-199, 2009.

PINHEIRO, A. G. et al. Eficiência da cobertura vegetal na redução das perdas de água e solo no município de Iguatu. **Irriga, Botucatu**, v. 23, n. 1, p. 133-142, 2018.

PINHEIRO, M F.; RODRIGUES, F. A. Desenvolvimento do programa de computador “MMQ” de regressão linear múltipla na calculadora HP Prime e sua aplicação na disciplina de cinética heterogênea. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 2, p.8352-8359, 2020.

- PINTO, G. S. et al. Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica utilizando o Método de Erosão Potencial. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 39, p. 62-71, 2020.
- PINTO, L. C.; CHAGAS, W. F. T.; AMARAL, F. H. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes usos. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 3, p. 47-57, 2018.
- PORTUGAL, J. R. et al. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azopirillum* brasileiro em milho no Cerrado. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 4, p. 639-649, 2017
- POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da taxa de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 19-27, 2003.
- PRAZERES, M. S. et al. Chuva simulada: avaliação de perdas de solo e água em um Cambissolo Húmico. **Ciencia del Suelo**, Argentina, v. 38, n. 1, p.199-202, 2020.
- PROSDOCIMI, M. et al. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 547, p. 323-330, 2016.
- QUEIROZ, W. T. et al. Índice de valor de importância de espécies arbóreas da floresta nacional do tapajós via análises de componentes principais e de fatores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 47-59, 2017.
- RAMALHO-FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1995. 65 p.
- RAMOS, J. C. et al. Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um Cambissolo Húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, 2014.
- RAMOS, H. M. M. et al. Atributos físico-hídricos de um neossolo quartzarênico sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 14, n. 2, 2020.
- REICHERT, J. M. et al. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 123-136, 2016.
- RODRIGUES, M. et al. Cultivo mínimo é o sistema recomendado para introdução da *Brachiaria brizantha* em Latossolo na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, 2018.
- RODRIGUES, V. A. et al. Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 01, 2015.

ROSSETI, K. V.; CENTURION, J. F. Indicadores de qualidade em Latossolos compactados e suas relações com o crescimento do sistema radicular do milho. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 11, n. 3, p. 181-190, 2017.

RSTUDIO: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. 2020.
<http://www.rstudio.com/>.

SALOMÃO, P. E. A. et al. The Importance of Straw No-Tillage System for Soil Restructuring and Organic Matter Restoration. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, 2020.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R. SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria Juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.115-122, 1998.

SANTOS C. A.; SOBREIRA F. G. Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Baçõ e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG. **Revista Escola de Minas**, v. 61, n. 1, p. 77-85, 2008.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v. 20, n. especial, 2013.

SANTOS, J. Y. G.; SANTOS, C. A. G. Perdas de Água e Solo Utilizando Chuva Simulada em Diferentes Coberturas Superficiais e Condições de Umidade no Semiárido Paraibano. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 4, p. 217-228, 2012.

SANTOS, M. A. D. N. D. et al. Water infiltration in an Ultisol after cultivation of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1612-1620, 2014.

SANTOS, P. M. R. et al. Avaliação da infiltração da água no solo pelo método de infiltrômetro de anéis. **IV INOVAGRI International Meeting**, 2017.

SANTOS, V. D. F. L. et al. Ensino de matemática e educação ambiental: modelagem com energias renováveis no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 148-162, 2021.

SANTOS, S. V. et al. Perdas de solo e de água em diferentes sistemas de manejo em Latossolo Vermelho. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 1, p. 64-69, 2019..

SASSI, C. P. et al. Modelos de regressão linear múltipla utilizando os softwares r e statistica: uma aplicação a dados de conservação de frutas. **São Carlos: ICMC-USP**, 2012.

SHAH, S.; JAIN, R. K.; GANDHI, H. M. Review on Experimental Study of Influence of Soil Parameters on Infiltration Capacity. **International Journal for Innovative Research in Science and Technology**. v. 1, n. 12, p. 145-147, 2015.

SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. de. Indicadores macro e micromorfológicos da qualidade física de um Latossolo vermelho cultivado com cana-de-açúcar. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, v. 14, n. 3, 2015.

SILVA, A. F. et al. Umidade inicial e velocidade de infiltração básica da água no solo em diferentes agroecossistemas do Campus III da UFPB. **Congresso Brasileiro de Agroecologia de São Cristóvão**, Sergipe, v. 15, n. 2, 2020.

SILVA, A. R. et al. O método DFSANE aplicado em uma simulação numérica da infiltração da água em zona subsaturada. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 7, n. 1, 2020.

SILVA, B. P. A. da et al. Efeito residual de doses de nitrogênio aplicadas em pastos de capim-braquiária sobre a produção de milho para silagem em sistemas integrados. **Ciência Animal Brasileira**, v. 18, n. 0, 2017.

SILVA, C. L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 213-220, 1997.

SILVA, D. C. C. et al. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. **Revista Ra' e Ga**, Curitiba, v. 42, p. 72-85, 2017.

SILVA, J. A. O. et al. Automatização do sistema de abastecimento de água de um infiltrômetro de anéis concêntricos para utilização em solos com alta capacidade de infiltração. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 7, n. 1, p. 93-105, 2019.

SILVA, J. C. A.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F. Avaliação da infiltração da água no solo como indicador de modificações edáficas em três sistemas de manejo. **Agropecuária Técnica**, v. 27, p. 85- 91, 2006.

SILVA, J. L. A.; SOUZA, C. A. L. Variáveis hidrossedimentológicas e níveis de degradação ambiental a partir de protocolos de avaliação rápida de rios, entre a baía da palha e o sado no corredor fluvial do Rio Paraguai. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 35, e35448, 2019.

SILVA, J. R. I. et al. Efeitos de diferentes usos do solo na erosão hídrica em região semiárida. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 272-283, 2019.

SILVA, M. A. et al. Water erosion risk prediction in eucalyptus plantations. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p.160-172, Apr. 2014.

SILVA, M. A. et al. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. **Revista Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 765-776, 2011.

SILVA, P. A. et al. Estimação da matéria orgânica do solo, em função dos atributos químico-físicos do solo, em áreas tropicais de cana de açúcar. Encontro Internacional de Pós-graduação. **Anais**, v. 5, n. 1, p. 251-255, 2021.

SILVA, S. N.; NEVES, E. Importância do manejo da irrigação. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer – Jandaia-GO, v. 17, n. 34, p. 271-288, 2020.

SILVEIRA, S. S.; ANDRADE, E. M. Análise de componente principal na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.2, p.171-7, 2002.

SIMÕES, W. L.; FIGUEIRÊDO, V. B.; SILVA, E. L. DA. Uso do cilindro infiltrômetro único em diferentes solos. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 359–366, 2005.

SOARES, P. V. et al. Mapa de infiltração do alto e médio Vale do Paraíba do Sul com base em elementos do meio físico e na precipitação. **Revista Ambiente e Água**, v. 3, n. 1, p. 26-42, 2008.

SOBRINHO, M. O. S.; FONTES, A. B. Desenvolvimento e avaliação de um controlador preditivo não linear baseado em modelo quasilinear modificado: abordagem por variáveis de estado. **Sociedade Brasileira de Automática**, v.1, n. 1, 2019.

SOUSA, R. S. et al. Engenharia natural: o uso e avaliação de plantas de uma perspectiva de engenharia. **Scientia Vitae**, v. 9, n. 27, 2020.

SOUZA, A. G. V. et al. Degradação dos solos de agricultura intensiva, diagnóstico e métodos de recuperação. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 11, n. 1, p. 23-29, 2020.

SOUZA, C. K. Relação solo-paisagem-erosão e variabilidade espacial de Latossolos em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal, SP. 2001. 186p. Dissertação Mestrado. Jaboticabal: FCAV/UNESP.

SPERA, S. et al. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura- produção integração lavoura---pecuária (ILP), sob plantio direto pecuária (ILP), sob plantio direto pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 37-44, 2010.

SPOHR, R. B. et al. Desenvolvimento e validação de um simulador de chuvas portátil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 411-417, 2015.

STEFANOSKI, D. C. et al. Uso e Manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 1301-1309, 2013.

TAVARES, M. A. R. et al. Capacidade de uso da terra e abatimento de erosão hídrica em propriedades agrícolas do sul do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 48, n. 4, 2020.

THOMA, A. C. et al. Avanços no desenvolvimento de equipamento para avaliação da erosão hídrica em laboratório. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 61290-61300, 2020.

THOMAZ, P. S. et al. Avaliação do Desempenho do Método dos Mínimos Quadrados: um Estudo de Caso com Duas Séries Temporais de Índices Macroeconômicos. **Revista de Informática Aplicada**, v. 15, n. 1, 2019.

THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H. C. A.; MENDONÇA, E. S. Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas conservacionistas e convencionais de café no sul do estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 2, p. 150-159, 2012.

VIEIRA, I. D. et al. Compactação do solo em cultivo de repolho roxo no sistema plantio direto. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Jandaia-GO, v. 18 n. 35, p. 56-65, 2021.

VIEIRA, Z. C.; ALMEIDA, K. S.; ALBUQUERQUE, E. F. Influência de telhados verdes pré-moldados na redução e retardo do escoamento em precipitações intensas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 1986-1998, 2020.

VIEL, J. A.; ROSA, K. K.; HOFF, R. Estudo da erosão superficial do solo por meio de sig na região da denominação de origem vale dos Vinhedos (Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, p. 521-533, 2017.

VOLK, L.B.D.S; COGO, N.P. Erosão hídrica, em três momentos da cultura do milho, influenciada por métodos de preparo do solo e semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, 2014.

WANG, X. et al. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. **Catena**, v.137, p.256-268, 2016.

ZHAO, L. et al. Effect of soil surface roughness on infiltration water, ponding and runoff on tilled soils under rainfall simulation experiments. **Soil and Tillage Research**, St Louis, v. 179, p. 47-53, 2018.

ZONTA, J. H. et al. Efeito da aplicação sucessiva de precipitações pluviais com diferentes perfis na taxa de infiltração de água no solo. **Revista Brasileira Ciência e Solo**, v. 36, p. 377-388, 2012.

ZOTARELLI, L. et al. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185-195, 2012.