



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
***CAMPUS ARAPIRACA***  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**JOSÉ FERREIRA DE OLIVEIRA**

**ERODIBILIDADE DE CAMBISSOLOS: DETERMINADA EXPERIMENTALMENTE  
POR CHUVA SIMULADA E POR MODELOS MATEMÁTICOS**

**ARAPIRACA**

**2024**

JOSÉ FERREIRA DE OLIVEIRA

ERODIBILIDADE DE CAMBISSOLOS: DETERMINADA EXPERIMENTALMENTE  
POR CHUVA SIMULADA E POR MODELOS MATEMÁTICOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao Curso de Agronomia do *Campus*  
Arapiraca da Universidade Federal de Alagoas -  
UFAL, como requisito à obtenção do título de  
Bacharelado em Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Cicero Gomes dos Santos  
Coorientador: Julio César Calixto Costa

ARAPIRACA

2024



Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Campus Arapiraca  
Biblioteca Setorial *Campus* Arapiraca - BSCA

- O48e Oliveira, José Ferreira de  
Erodibilidade de cambissolos: determinada experimentalmente por chuva simulada e por modelos matemáticos / José Ferreira de Oliveira. – Arapiraca, 2024.  
42 f.: il.
- Orientador: Prof. Dr. Cicero Gomes dos Santos  
Coorientador: Julio César Calixto Costa  
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia). - Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, Arapiraca, 2024.  
Disponível em: Universidade Digital (UD) – UFAL (*Campus* Arapiraca).  
Referências: f. 36-42
1. Erosão do solo 2. Processos erosivos 3. Taxas de desagregação 4. Erosão em entressulcos I. Santos, Cicero Gomes dos II. Costa, Julio César Calixto III. Título.

CDU 63

JOSÉ FERREIRA DE OLIVEIRA

ERODIBILIDADE DE CAMBISSOLOS: DETERMINADA EXPERIMENTALMENTE  
POR CHUVA SIMULADA E POR MODELOS MATEMÁTICOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao Curso de Agronomia do  
*Campus* Arapiraca da Universidade Federal de  
Alagoas - UFAL, como requisito à obtenção  
do título de Bacharelado em Engenheiro  
Agrônomo. Aprovado em 24 de janeiro de  
2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



CICERO GOMES DOS SANTOS

Data: 16/02/2024 13:12:36-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

**Prof. Dr. Cicero Gomes dos Santos**

UFAL – *Campus* Arapiraca

Orientador

Documento assinado digitalmente



JULIO CESAR CALIXTO COSTA

Data: 16/02/2024 13:39:37-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

**Eng. Agr. Julio César Calixto Costa**

Mestrando no PPGCS - UFRPE

Coorientador

Documento assinado digitalmente



FABIANA FONTES DA SILVA

Data: 18/02/2024 13:17:17-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

**Zootecnista/ Mestre. Fabiana Fontes Silva Macedo de Carvalho**

UFAL – *Campus* Arapiraca

Documento assinado digitalmente



MARCIO AURELIO LINS DOS SANTOS

Data: 18/02/2024 15:39:44-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

**Prof. Dr.: Marcio Aurelio de Lins**

UFAL – *Campus* Arapiraca

*Dedico esse trabalho a minha  
Mãe, meus irmãos e minha  
noiva Ivanilda.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por sempre ter me iluminado nos momentos mais difíceis dessa jornada. Obrigado meu DEUS!

A minha mãe, Edileuza Maria de Oliveira, por sempre me apoiar e incentivar nos estudos, e de nunca me privar de realizar meus sonhos e ir em busca de novos conhecimentos.

Agradeço aos meus irmãos, Irineu e Júlio Ferreira e irmãs, Janecleide e Claudiana Ferreira pelo apoio, paciência e compreensão nos momentos mais difíceis dessa jornada.

Agradeço também a minha noiva Ivanilda pelo apoio, companheirismo e compreensão, e por sempre estar presente nos momentos mais difíceis. Obrigado meu Amor!

Também agradeço grandemente ao meu orientador Prof. Dr. Cícero Gomes dos Santos, pela amizade e paciência em me orientar durante este trabalho.

E por último, mas não menos importante, agradeço a todos os meus colegas e amigos de luta que de uma forma ou de outra contribuíram com esse trabalho, em especial a Ilâne Benicio e Julio Cesar pela amizade e contribuição durante toda a faculdade.

## RESUMO

A resistência de um solo à desagregação e transporte de partículas é definida como a erodibilidade do solo. A erodibilidade consiste no fator responsável pela suscetibilidade do solo à erosão hídrica, sendo condicionada, por atributos mineralógicos, químicos, morfológicos, físicos e biológicos. A determinação da erodibilidade do solo é um fator complexo e dependente da interação de múltiplos atributos, para descrever o comportamento do mesmo diante do processo erosivo foram desenvolvidos modelos empíricos, conceituais e matemáticos. Neste contexto, este estudo objetivou determinar indireta e diretamente a erodibilidade dos Cambissolos, nas subordens Háplicos e Flúvicos e grandes grupos Eutrófico do Estado de Alagoas. Para determinar a erodibilidade do solo, utilizou-se a ordem dos Cambissolos, presentes no Estado de Alagoas, identificados através do perfil modal no ZAAL (Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas). As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, mais próximas possível do local de descrição do perfil modal do ZAAL. As amostras passaram por etapas de pré-tratamento, que consiste na secagem ao ar à sombra e peneirados, em seguida foram determinadas as características físicas (distribuição do diâmetro e das partículas de areia, textura do solo, porosidade total), químicas (estabilidade de agregados). A determinação da erodibilidade do solo ( $K_i$ ) foi realizada por método direto, através de chuva simulada e por métodos indiretos através de modelos matemáticos. Para realização desta ação, foram montadas parcelas experimentais, de formato quadrado com 0,6 m de lado e 0,10 m de profundidade, totalizando uma área útil de teste de 0,36 m<sup>2</sup>, com bordadura de 0,2 m, após o acondicionamento das amostras, foram realizados os testes de chuva simulada em condições de laboratório, sob chuva simulada, em um solo totalmente descoberto, e os testes foram realizados pelo preparo convencional com (3 repetições). O fator erodibilidade do solo em entressulcos ( $K_i$ ) apresentaram valores que variaram entre 0,000682 kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, para o Cambissolo Flúvico no perfil modal no município de Penedo, e maior que 0,001447 kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para o Cambissolo Flúvico, coletado no município de Pão de Açúcar. Os Cambissolos Háplico, de São Miguel e Eutrófico que pertence a ordem dos grandes grupos coletado na cidade de Água Branca apresentaram uma taxa de erodibilidade estatisticamente igual. A taxa de desagregação também foi maior para o Cambissolo Háplico de Pão de Açúcar e semelhante entre os demais solos estudados. Portanto, para o fator de erodibilidade dos Cambissolos estudados no Estado de Alagoas, recomenda-se a utilização da metodologia de chuva simulada, em condições de campo ou de laboratório através do modelo WEPP que foi mais adequado em comparação as demais modelos matemáticos.

**Palavras-chave:** processos erosivos; taxas de desagregação; erosão em entressulcos.

## ABSTRACT

The resistance of a soil to disintegration and particle transport is defined as soil erodibility. Erodibility consists of the factor responsible for the soil's susceptibility to water erosion, being conditioned by mineralogical, chemical, morphological, physical and biological attributes. Determining soil erodibility is a complex factor and dependent on the interaction of multiple attributes. To describe its behavior in the face of the erosion process, empirical, conceptual and mathematical models were developed. In this context, this study aimed to indirectly and directly determine the erodibility of Cambisols, in the Haplic and Fluvic suborders and large Eutrophic groups in the State of Alagoas. To determine soil erodibility, the order of Cambisols, present in the State of Alagoas, was used, identified through the modal profile in the ZAAL (Agroecological Zoning of the State of Alagoas). Soil samples were collected at a depth of 0 to 20 cm, as close as possible to the location of the ZAAL modal profile description. The samples went through pre-treatment stages, which consisted of air drying in the shade and sieve, then the physical characteristics (distribution of diameter and sand particles, soil texture, total porosity), chemical characteristics (stability of aggregates). The determination of soil erodibility ( $K_i$ ) was carried out by direct method, through simulated rain and by indirect methods using mathematical models. To carry out this action, experimental plots were set up, square in shape, 0.6 m on a side and 0.10 m deep, totaling a useful test area of 0.36 m<sup>2</sup>, with a border of 0.2 m, after the packaging of the samples, simulated rain tests were carried out under laboratory conditions, under simulated rain, on completely uncovered soil, and the tests were carried out using conventional preparation with (3 repetitions). The soil erodibility factor in interrulcos ( $K_i$ ) presented values that varied between 0.000682 kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, for the Fluvic Cambisol in the modal profile in the municipality of Penedo, and greater than 0.001447 kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> for Cambisol Flúvico, collected in the municipality of Pão de Açúcar, (Oliveira et al, 2008; Souza et al, 2017) also obtained similar values studying Planosols. The Cambisols Háplico, São Miguel and Eutrófico, which belong to the order of large groups collected in the city of Água Branca, presented a statistically equal erodibility rate. The disaggregation rate was also higher for the Cambisol Haplico de Pão de Açúcar and similar among the other soils studied. Therefore, for the erodibility factor of the Cambisols studied in the State of Alagoas, it is recommended to use the simulated rainfall methodology, in field or laboratory conditions through the WEPP model, which was more appropriate in comparison to other mathematical models.

**Keywords:** erosive processes; unbundling rates; erosion in intergrooves.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Distribuição municipal dos solos coletados no respectivos Estado de Alagoas.....	17
<b>Figura 2</b> - Coleta de amostra de Cambissolos Eutrófico no município de Água Branca (Figura 2A) e Flúvico no município de Pão de Açúcar (Figura 2B).....	18
<b>Figura 3</b> - Amostras de Textura do solo realizadas no laboratório de Física dos Solos <i>Campus</i> Arapiraca.....	18
<b>Figura 4</b> - Figura 4. Parcela experimental, com sistema de coleta de chuva, preenchida com Cambissolo Flúvico (Figura 4A) e Eutrófico (Figura 4B) com aplicação de chuva simulada.....	19
<b>Figura 5</b> - Lista parcial do Conjunto Simulador de chuva e parcela experimental preenchida de solo nas dependências do Laboratório de Conservação e Física do Solo, <i>Campus</i> Arapiraca – UFAL.....	20
<b>Figura 6</b> - Coletas de sedimentos por chuva simulada atreves de uma proveta. ....	21
<b>Figura 7</b> - Representação gráfica dos números de Reynolds (Re) e de Froude (Fr), com base em Mannigel (2001).....	22
<b>Figura 8</b> - Fator de erodibilidade do solo em entressulcos para a classe dos Cambissolos Flúvicos, Háplicos e Eutrófico coletados nos perfis modais nos municípios de São Miguel, Major Izidoro, Pão de Açúcar, Penedo e Água Branca no recorte territorial do estado de Alagoas.....	32

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Classificação das frações de solo em relação ao diâmetro das partículas.....	16
<b>Tabela 2</b> - Cambissolos Háptico, Flúvico e Eutrófico com sua localização geográfica no recorte do território Alagoano, segundo o ZAAL (2012).....	17
<b>Tabela 3</b> - Distribuição de diâmetro das partículas por dispersão em água e em dispersão química (NaOH) de Cambissolos Hápticos, Flúvicos e Eutrófico.....	25
<b>Tabela 4</b> - Distribuição das classes de areia em Cambissolos Háptico, Flúvico e Eutrófico.....	26
<b>Tabela 5</b> - Características hidráulicas do escoamento entressulcos.....	27
<b>Tabela 6</b> - Características do escoamento e Perda de solo entressulcos com chuva simulada em Cambissolos Hápticos, Flúvicos e Eutrófico do estado de Alagoas.....	28
<b>Tabela 7</b> - Análises de variância (ANOVA) dos coeficientes de erodibilidade dos Cambissolos.....	31
<b>Tabela 8</b> - Valores do fator erodibilidade do solo em entressulcos por métodos indiretos (modelos matemáticos).....	33

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Erodibilidade do solo.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Processos erosivos .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Impactos da degradação do solo.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Tipos de Erosão hídrica.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 Principais Características dos Cambissolos .....</b>	<b>16</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Classes dos Cambissolos no Estado de Alagoas .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Coleta e tratamentos das amostras .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Parcelas experimentais.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4 Aplicação de chuva simulada em laboratório .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 Erodibilidade do solo entressulcos .....</b>	<b>21</b>
<b>3.6 Modelos matemáticos de estimativa da erodibilidade do solo .....</b>	<b>22</b>
<b>3.7 Análise estatística dos dados .....</b>	<b>23</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Características físicas dos Cambissolos.....</b>	<b>24</b>
4.1.2 Distribuição dos diâmetros de partículas.....	24
4.1.3 Distribuição das Classes de Areia.....	25
<b>4.2 Critérios Hidráulicos de Escoamento .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3 Taxas de desagregação, erodibilidade e perda de solo.....</b>	<b>27</b>
<b>4.4 Estimativa do fator erodibilidade do solo em entressulcos por modelos matemáticos.....</b>	<b>32</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas vem crescendo a pressão sobre os solos, o que vem comprometendo a qualidade dos ambientes, tal pressão em parte é devido ao crescimento populacional de forma exponencial, levando as Nações Unidas (ONU), a projetar uma estimativa de 9 bilhões de pessoas em 2050 no Planeta Terra, por representar um aumento na demanda por alimentos-fibras-bioenergias para atender a demanda. Esta pressão impacta em adicionar aos sistemas produtivos as áreas de baixa aptidão agrícola. Levando uma maior pressão sobre os solos, contribuindo para a degradação dos mesmos, dentre os principais fatores de degradação dos mesmos, está o processo erosivo. O aumento da degradação dos solos (García-Ruiz *et al.*, 2017; Taguas *et al.*, 2017; Beniaich *et al.*, 2019) representa uma preocupação global, considerando o declínio das funções do solo (McBratney *et al.*, 2014) e uma diminuição na produção mundial de alimentos (FAO/ITPS, 2015).

A denominação de processo erosivo, caracteriza pela ação de degradação física do solo, que se divide em três etapas, iniciando com o impacto da gota de chuva sobre o solo, inicialmente desagrega, deixando a partículas solta, logo após ocorre o transporte dos sedimentos pela enxurrada, e por fim ocorre a deposição das partículas do solo em áreas mais baixas (Ellison, 1947; Silva *et al.*, 2012). A erosão hídrica é um processo dividido em três fases, de acordo com a origem do sedimento, em erosão entressulcos (anteriormente denominada de erosão laminar), em sulcos e em voçorocas que representam um processo erosivo global, denominado de erosão bruta (Casali *et al.*, 2013).

O processo erosivo se manifesta com intensidade variável, condicionada basicamente por cinco fatores: chuva (erosividade), solo (erodibilidade), relevo, cobertura do solo e o manejo do solo (Wischmeier; Smith, 1978; Hudson, 1997; Bertol *et al.*, 2018). Dentre estes fatores, a suscetibilidade ou vulnerabilidade do solo em resistir aos efeitos degradantes, é denominada de erodibilidade do solo (Araújo *et al.*, 2011).

Na busca em reduzir os efeitos degradantes do solo, se faz necessário o entendimento dos vários fatores envolvidos, dentre eles os valores de erodibilidade do solo, nos diferentes ambientes e nas diferentes classes de solos e dos métodos de obtenção dos valores dos índices de erodibilidade nas diferentes Ordens de solos de ocorrência no Brasil, dentre elas, merece destaque a Ordem dos Cambissolos no recorte territorial do Estado de Alagoas, onde se registra as subordens Háptico e Flúvico e grandes grupos Eutrófico (Santos *et al.*, 2018).

Para obtenção dos valores dos índices de erodibilidade existem três métodos, o primeiro consiste na utilização de chuva natural em condições de campo, este método é

considerado oneroso e de longo prazo, com um período de observação mínima de cinco anos. O segundo baseia-se em regressões múltiplas que contenham como variáveis independentes atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo ou relações destes, correlacionados com o fator erodibilidade e o terceiro método é semelhante ao primeiro, diferenciando na utilização de chuva simulada, que pode ser em condições de campo ou de laboratório, reduzindo o prazo de observações.

Neste contexto, este estudo objetivou determinar indireta e diretamente a erodibilidade dos Cambissolos, nas subordens Háplico e Flúvico, e grandes grupos Eutrófico do Estado de Alagoas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Erodibilidade do solo

A erodibilidade do solo se refere à vulnerabilidade ou suscetibilidade do solo à erosão, que é a recíproca de sua resistência, dependendo das propriedades que influenciam sua resistência à desagregação pelo fluxo superficial. A erodibilidade é afetada pela textura do solo, teor de matéria orgânica, estrutura, conteúdo de óxidos de ferro e de alumínio, ligações eletroquímicas, umidade inicial, mineralogia e grau de intemperismo do solo Schäfer *et al.* (2001). Sá *et al.* (2004), expressa que existe uma boa correlação entre a estabilidade de agregados e a erodibilidade do solo.

A erodibilidade trata-se de um parâmetro importante na previsão da erosão e planejamento do uso da terra, sendo uma propriedade do solo resultante da interação entre suas características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas, influenciada principalmente por características que afetam a capacidade de infiltração, permeabilidade do solo e sua capacidade de resistir ao desprendimento e transporte de partículas pela chuva e enxurrada (Cassol; Lima, 2003; Amorim *et al.*, 2009; Bertoni; Lombardi Neto, 2010).

### 2.2 Processos erosivos

A agricultura é considerada a primeira grande invenção da humanidade, possibilitando que o homem dominasse as técnicas de produção de alimentos-fibras e bioenergia, este sistema provocou sérias mudanças no ambiente, levando a desequilíbrio entre o hiato formado pela produção de alimentos e a conservação dos recursos naturais, dentre eles o solo. Dentre os principais problemas de degradação dos ambientes produtivos, têm-se a erosão, que é definida como o processo de degradação, transporte e deposição de material de origem do solo, ocasionado pela ação dos agentes erosivos chuva, vento, relevo, vegetação, manejo e ação antrópica (Souza *et al.*, 2018).

A erosão do solo pode ser definida simplesmente, como o desgaste do solo em razão da remoção de camadas superficiais causada pela ação dos agentes erosivos (Bertol *et al.*, 2018). Segundo Pruski (2009), o início do processo erosivo consiste no desprendimento e arraste das partículas do solo, tendo a chuva ou o vento colocando energia cinética no sistema, representando uma das principais causas de degradação das áreas de produção agrícola. O processo de desprendimento e arraste das partículas sólidas do solo, representa um dos

principais problemas de degradação dos solos agricultáveis (Bertoni; Lombardi Neto, 2018). O processo erosivo é responsável pela perda de milhões de toneladas de solo no ambiente agrícola no território brasileiro a cada ano (Oliveira *et al.*, 2010). A erosão hídrica do solo pode se manifestar de modo distinto, de acordo com o local onde ela ocorre (Bertol *et al.*, 2007).

A erosão dos solos é um problema ambiental que ocorre em diferentes escalas no tempo-espaço, sendo uma das principais formas de degradação dos solos no mundo. Apesar de a erosão ser um processo geomorfológico natural, responsável pela esculturação do relevo, ao longo do tempo, através da remoção, transporte e deposição de matérias das encostas para áreas mais deprimidas, os processos erosivos vêm sendo acelerados por práticas humanas desenvolvidas de maneira inadequada (Morgan, 2005; Favis-Mortlock, 2012; Guerra *et al.*, 2017).

A erosão hídrica é o resultado da interação do clima, solo, topografia, cobertura e manejo do solo e da adoção de práticas conservacionistas (Wischmeier; Smith, 1958; Oliveira *et al.*, 2010), condições antecedentes de umidade e tamanho da área considerada (Cantalice, 2009). Os efeitos degradativos ocasionados pela erosão consistem na remoção de partículas do solo, a melhor forma de conhecer a dinâmica envolvida neste processo é a determinação dos valores dos índices de erodibilidade do solo (Silva *et al.*, 2000; Panachuki *et al.*, 2006).

Tal como os processos erosivos, a erodibilidade do solo varia no tempo e no espaço de acordo com a dinâmica pedológica e sua relação com o ambiente (Wang *et al.*, 2013). Sabe-se que o uso da terra de forma inadequada, especialmente por atividades agropecuárias, pode provocar alterações diretas e/ou indiretas em algumas propriedades do solo, modificando sua estrutura, compactando-o e, conseqüentemente, o deixando mais erodível (Mafra, 2012; Guerra, 2013; Keesstra *et al.*, 2016).

A erodibilidade é um fator quantitativo que retrata o efeito seja ele maior ou menor e a suscetibilidade do solo ao processo erosivo, demonstrando assim a capacidade que cada tipo específico de solo tem de resistir à desagregação e transporte de suas partículas pelos agentes de intemperismo como por exemplo a água ou o vento (Foster, 1982; Silva *et al.*, 2000; Couto, 2015).

### **2.3 Impactos da degradação do solo**

A degradação do solo pode ser entendida como o resultado de qualquer ação que o faça menos utilizável em benefício dos seres humanos (Wasson, 1987). A qualidade do solo é

definida por valores relativos à sua capacidade de cumprir uma função específica e pode ser determinada para diferentes escalas: campo, propriedade agrícola, ecossistema, região (Gregorich; Carter, 1997). Pode-se, assim, entender a degradação do solo como sendo a perda da sua capacidade em desempenhar uma função e o grau da degradação como um indicador chave da sustentabilidade dos ecossistemas.

Segundo (Hernani *et al.*, 2002), os tipos de degradação dos solos podem ser: erosão hídrica: perda de horizontes superficiais; deformação do terreno; movimentos de massa; deposição. Erosão eólica: perda de horizontes superficiais; deformação do terreno; movimentos de massa; deposição; química: perda de nutrientes e/ou matéria orgânica; desbalanço de nutrientes; salinização; acidificação; poluição; física: compactação; selamento, encrostamento; inundação; aeração deficiente, excesso ou falta de água. Biológica: redução da biomassa, redução da biodiversidade.

A principal causa da degradação do solo em ambientes tropicais é a erosão hídrica e as atividades que contribuem para o aumento das perdas de solo. A erosão hídrica é um processo natural que acontece em escala de tempo geológica. As atividades humanas tendem a acelerar esse processo a ponto de tornar visíveis os seus efeitos. Naturalmente, sob condições climáticas adversas, como seca ou excesso de chuvas, os resultados são dramáticos e chamam a atenção (Castro Filho *et al.*, 2001; Freitas *et al.*, 2001).

A atividade humana sem conhecimento dos recursos naturais solo, água e biodiversidade, causaram a falta de planejamento em diferentes escalas, o uso de sistemas não adequados de manejo, o desmatamento incorreto, a exploração do solo acima de sua capacidade (superpastoreio, agricultura extensiva), além do crescimento urbano e industrial desordenados, dão origem a uma sequência de ações que influem sobre as propriedades e a natureza do solo, tornando-o mais suscetível às forças naturais de degradação (Freitas, 2002; Castro Filho *et al.*, 2001).

Os processos de degradação estão associados a fatores edáficos, climáticos e antrópicos. Embora alguns autores separem a degradação do solo em física, química e biológica, os processos associados a cada um desses aspectos apresentam interações e influenciam-se mutuamente sendo que a alteração de um deles afeta a qualidade do solo e de todo o sistema. A intensidade e a taxa de desenvolvimento desses processos são muito ampliadas pelo uso e manejo inadequados do solo (uso intensivo de grades de discos no preparo do solo, por exemplo), que expõem o solo aos fatores intempéricos induzem a destruição gradativa de seus atributos físicos, químicos e biológicos. A perda da camada

superficial do solo é a principal forma de expressão da degradação das terras no Brasil, sendo a erosão hídrica a sua causa maior Hernani *et al.* (2002).

## 2.4 Tipos de Erosão hídrica

As principais formas de expressão da erosão hídrica nas áreas agrícolas são laminar, em sulcos e em voçorocas, (Bertoni; Lombardi Neto, 2018). A laminar se caracteriza pela degradação do solo em que camadas superficiais são gradualmente removidas pela ação contínua da água ou do vento. Na erosão em sulcos, a enxurrada concentrada atinge volume e velocidade suficientes para formar canais de diferentes dimensões. Já a erosão entressulcos acontece pela desagregação originada do impacto das gotas de chuva e pelo transporte do escoamento superficial, por arraste e suspensão das partículas superficiais do solo desagregados, (Bezerra; Cantalice, 2006). A associação de grande volume de enxurrada e situações específicas de terreno, relativas tanto à pedologia quanto à litologia, promovem o deslocamento de grandes massas de solo e a formação de cavidades de grande extensão e profundidade denominadas voçorocas (Hernani *et al.*, 2002, p.22).

A erosão hídrica é caracterizada por processos que ocorrem em três fases: desagregação, transporte e deposição. A precipitação que atinge a superfície do solo inicialmente provoca o umedecimento dos agregados, reduzindo suas forças coesivas. Com a continuidade da chuva e o impacto das gotas, os agregados são desintegrados em partículas menores. A quantidade de agregados desintegrados cresce com o aumento da energia cinética da precipitação, que é função da intensidade, da velocidade e do tamanho das gotas da chuva, (Nuernberg, 1998; Pruski, 2000).

O transporte do solo somente começa a partir do momento em que a intensidade da precipitação excede a taxa de infiltração. Esta por sua vez, tende a decrescer com o tempo, tanto pelo umedecimento do solo como pelo efeito decorrente do selamento superficial. Uma vez estabelecido o escoamento, a enxurrada se move morro abaixo, podendo concentrar-se em pequenas depressões, mas sempre ganhará velocidade à medida que o volume da suspensão e a declividade do terreno aumentarem. Com isto, a sua capacidade de gerar atrito e desagregação se amplia à medida que a enxurrada se movimentar. E a deposição ocorre quando a carga de sedimentos é maior do que a capacidade de transporte da enxurrada. (Nuernberg, 1998; Pruski, 2000).

Segundo Malena; Aurélio (2001) e Dias (2004) a análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras e no tratamento

estatístico dessa informação da frequência com que ocorrem em uma determinada classe ou faixa de tamanho. A Tabela 1 apresenta os limites de tamanho para cada fração granulométrica que é determinada pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) sendo importante na classificação dos solos.

Tabela 1 - Classificação das frações de solo em relação ao diâmetro das partículas.

<b>Descrição</b>	<b>Diâmetro das Partículas</b>
Areia Muito Grossa	2,00 mm a 1,00 mm
Areia Grossa	1,00 a 0,50 mm
Areia Média	0,50 mm a 0,25 mm
Areia Fina	0,25 mm a 0,106 mm
Areia Muito Fina	0,106 mm a 0,053 mm
Silte	0,005 mm a 0,062 mm
Argila	<0,005 mm

**Fonte:** CPRM (2019)

## 2.5 Principais Características dos Cambissolos

Os Cambissolos são solos constituídos por material mineral, com horizonte B. Eles variam muito de um local para outro devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas Cunha *et al.* (2021).

São solos fortemente, até imperfeitamente drenados, rasos a profundos, de cor bruno ou bruno-amarelada, e de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração coloidal. O horizonte B incipiente (Bi) tem textura franco-arenosa ou mais argilosa, e o solo, geralmente, apresenta teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiro decréscimo ou um pequeno incremento de argila do horizonte A para o Bi. A estrutura do horizonte B pode ser em blocos, granular ou prismática, havendo casos, também, de solos com ausência de agregados, com grãos simples ou maciços (Cunha *et al.*, 2021).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Classes dos Cambissolos no Estado de Alagoas

Nesta pesquisa utilizou-se a ordem dos Cambissolos, nas subordens Háplico e Flúvico, e grandes grupos Eutrófico de ocorrência no estado de Alagoas, com base no Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas (ZAAL), nos municípios de São Miguel, Major Izidoro, Pão de Açúcar, Penedo e Água Branca (Tabela 2).

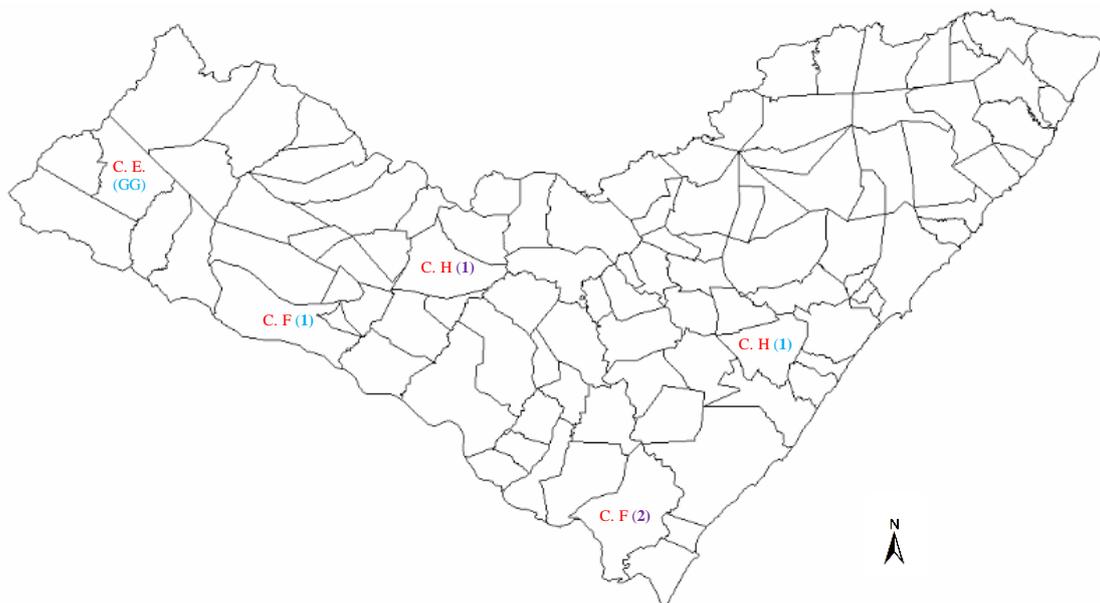
Tabela 2 - Cambissolos Háplico, Flúvico e Eutrófico com sua localização geográfica no recorte do território Alagoano, segundo o ZAAL (2012).

Unidade	Local	Coordenadas	
Cambissolo Háplico (1)	São Miguel	36° 09'45, 5" W	9° 45'12, 1" S
Cambissolo Háplico (2)	Major Izidoro	37° 00'51, 4" W	9° 33'23, 3" S
Cambissolo Flúvico (1)	Pão de Açúcar	37° 19'49, 9" W	10° 8'47, 01" S
Cambissolo Flúvico (2)	Penedo	36° 38'46, 6" W	10° 14'34, 4" S
Cambissolo Eutrófico (GG)	Água Branca	37° 57'16, 8" W	9° 15'43, 2" S

**Em que:** GG: grandes grupos

**Fonte:** Autor (2024).

Figura 1 - Distribuição municipal dos solos coletados no respectivos Estado de Alagoas.



#### 3.2 Coleta e tratamentos das amostras

As amostras foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, por meio de pá-de-corte,

após a remoção da vegetação existente. Realizado esta etapa, o solo foi acondicionado em saco de nylon e conduzido às dependências do Laboratório de Física do Solo do Curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas. As amostras foram submetidas a TFSA (Terra Fina Seca ao Ar), em seguida foram caracterizados fisicamente, no Laboratório de Física dos Solos do Curso de Agronomia/ *Campus Arapiraca*/ UFAL e quimicamente no Laboratório de Química dos Solos do Curso de Agronomia/ *Campus Arapiraca*/ UFAL.

Figura 2 - Coleta de amostra de Cambissolos Eutrófico no município de Água Branca (Figura 2A) e Flúvico no município de Pão de Açúcar (Figura 2B).



Fonte: Autor (2024).

Fonte: Autor (2024).

Figura 3 - Amostras de Textura do solo realizadas no laboratório de Física dos Solos *Campus Arapiraca*.



Fonte: Autor (2024).

### 3.3 Parcelas experimentais

A erosão hídrica dos solos em entressulcos foram determinadas em condições de laboratório, sob chuva simulada, em solo descoberto, simulando as condições de solo e de superfície proporcionadas pelo preparo convencional (3 repetições).

As parcelas experimentais possuem formato quadrado com 0,6 m de lado e 0,10 m de profundidade, totalizando uma área útil de teste de 0,36 m<sup>2</sup>, com bordadura de 0,2 m, mantidas em declividade de 0,09 m m<sup>-1</sup>. O volume da parcela experimental foi preenchido com uma camada de 3 cm de espessura de brita, sobre uma tela de estopa.

Para a montagem da parcela experimental foi realizado o destorroamento e peneiramento das amostras de solos coletados nas respectivas cidades (Tabela 2), logo após, o solo foi saturado com um conjunto de seis mangueiras acopladas ao fundo da parcela, conectadas a um reservatório de água posicionado a uma altura superior ao topo da parcela experimental, com isso realizou-se os testes de chuva simulada para os Cambissolos nas subordens Háplico e Flúvico e grandes grupos Eutrófico, e ao redor da parcela foram colocados dez pluviômetros, utilizados para medir o volume de água gasto por cada teste de chuva simulada.

Figura 4 - Parcela experimental, com sistema de coleta de chuva, preenchida com Cambissolo Flúvico (Figura 4A) e Eutrófico (Figura 4B) com aplicação de chuva simulada.



Fonte: Autor (2024).



Fonte: Autor (2024).

### 3.4 Aplicação de chuva simulada em laboratório

A aplicação de chuva simulada foi realizada por meio de um simulador de chuva, descrito por Meyer; Harmon, (1979). A energia cinética do impacto das gotas nessa pressão,

independente da intensidade aplicada, é de aproximadamente  $275 \text{ kJ h}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  e uma distribuição de gotas com 2,3 mm de diâmetro e velocidade terminal de  $8,8 \text{ m s}^{-1}$ . Com duração de chuva simulada de 75 minutos e intensidade de  $95 \text{ mm h}^{-1}$

Figura 5 - Vista parcial do Conjunto Simulador de chuva e parcela experimental preenchida de solo nas dependências do Laboratório de Conservação e Física do Solo, *Campus Arapiraca* – UFAL.



**Fonte:** Autor (2024).

As coletas de sedimentos foram realizadas através de uma proveta de 100 ml no início do escoamento em intervalos de 5 minutos, até os 75 minutos, com duração de 10 segundos cada coleta, totalizando um total de 15 coletas. Ao término das coletas, os sedimentos foram levados ao laboratório de Física dos Solos onde foram pesados, e logo após as amostras foram secas em estufa a  $65^{\circ}\text{C}$ , e pesadas novamente para a obtenção das perdas de solo.

Figura 6 - Coletas de sedimentos por chuva simulada atreves de uma proveta.



Fonte: Autor (2024).

### 3.5 Erodibilidade do solo entressulcos

A erodibilidade do solo entressulcos ( $K_i$ ) será determinada conforme o modelo WEPP (Alberts *et al.*, 1995), em condições de solo descoberto, recém-preparado e sem resíduos, através da equação (1):

$$K_i = \frac{D_i}{I^2 S_f} \quad (1)$$

Onde:  $K_i$  é o fator de erodibilidade do solo entressulcos ( $\text{kg s m}^{-4}$ );  $D_i$  é a taxa de desagregação do solo entressulcos ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), descrita pela equação 2;  $I$  é a intensidade da chuva ( $\text{m s}^{-1}$ );  $S_f$  é o fator declividade do solo, descrita pela equação (3).

As taxas de desagregação em entressulcos do solo ( $D_i$ ) serão determinadas pela equação (2):

$$D_i = \frac{M_{ss}}{A D} \quad (2)$$

Onde:  $M_{ss}$  é a massa do solo seco contida na amostra (kg);  $A$  é a área da parcela ( $\text{m}^2$ );  $D$  é a duração da coleta (s).

O fator declividade ( $S_f$ ) do solo será ajustado pela equação (3):

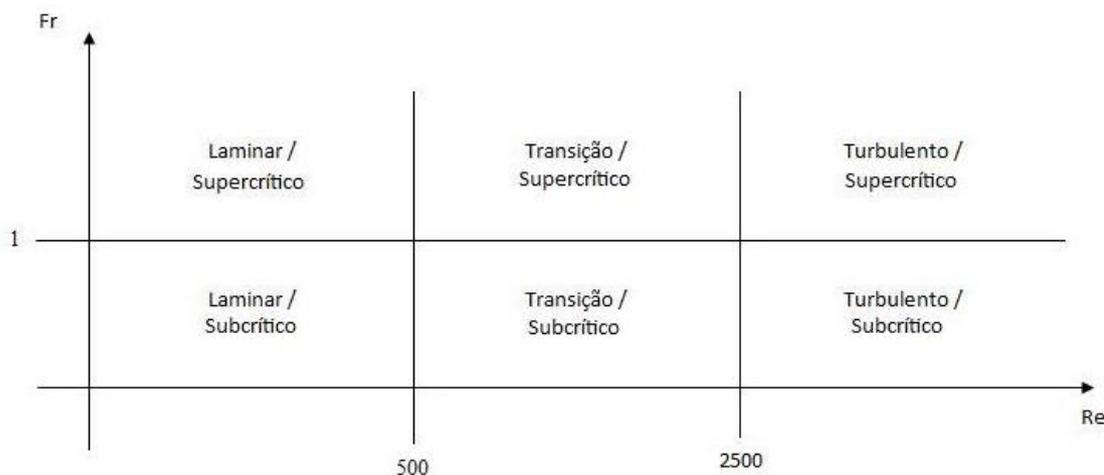
$$S_f = 1,05 - 0,85e^{-4 \text{sen} \theta} \quad (3)$$

Onde:  $\theta$  representa o ângulo do declive (graus).

Os números de Reynolds ( $Re$ ) e de Froude ( $Fr$ ) do regime de escoamento em entressulcos pode ser classificado em laminar subcrítico ( $9 < Re < 40$  e  $Fr < 1$ ) para o

transporte de sedimentos sobre chuva simulada (Nunes; Cassol, 2011), laminar supercrítico ( $139 < Re < 399$  e  $Fr > 1$ ) ou laminar de transição ( $500 < Re < 760$  e  $Fr > 1$ ) (Farenhorst; Bryan, 1995).

Figura 7 - Representação gráfica dos números de Reynolds (Re) e de Froude (Fr), com base em Mannigel (2001).



Fonte: Mannigel (2001)

Os testes de chuva simulada foram realizados com o objetivo de avaliar os níveis de erodibilidade entressulcos dos diferentes Cambissolos das subordens Flúvicos, Háplicos e grandes grupos Eutrófico, além de analisar os níveis de escoamento e desagregação do solo. A metodologia de determinação da erodibilidade com uso de sistemas de chuva simulada em condições de laboratório, constituem uma importante ferramenta para agilizar a obtenção de dados e a quantificação das perdas de solo e água, possibilitando a avaliação de tipos de manejo de solo, da cobertura e de sistemas de controle de erosão Martins *et al.* (2011).

### 3.6 Modelos matemáticos de estimativa da erodibilidade do solo

Para determinação dos valores de erodibilidade do solo de forma indireta, empregam-se equações matemáticas com a utilização de variáveis químicas, físicas e morfológicas dos perfis coletados.

A equação (4) proposta por Lombardi Neto e Bertoni (1975):

$$K = \frac{(\%argiladispersaem\acute{a}gua/\%argilatotal)}{(\%argilatotal)/(\%umidadeequivalente)} \quad (4)$$

A equação (5) proposta por Lima et al., (1990), adaptada de Lombardi Neto e Bertoni

(1975):

$$K = \frac{(\%silte+argiladispersaem\u00e1gua)/(\%silte+argilatotal)}{(\%argilatotal)/(\%umidadeequivalente)} \quad (5)$$

A equa\u00e7\u00e3o (6) proposta por Bouyoucos, que foi descrita por Bertoni e Lombardi Neto, (1990):

$$K = \frac{(\%areia+\%silte)/(\%argila)}{100} \quad (6)$$

A erodibilidade do solo em entressulcos ser\u00e1 estimada pela equa\u00e7\u00e3o proposta pelo modelo WEPP (Alberts *et al.*, 1995). Para solos que cont\u00eam 30% ou mais de areia na superf\u00edcie, usou a equa\u00e7\u00e3o (7):

$$Kib=2728000+19210000amf \quad (7)$$

Para solos que cont\u00eam menos de 30% de areia na superf\u00edcie, usou a equa\u00e7\u00e3o (8):

$$Kib=6054000-5513000amf \quad (8)$$

### 3.7 An\u00e1lise estat\u00edstica dos dados

Os dados foram submetidos a an\u00e1lises de vari\u00e2ncia (ANOVA) e a compara\u00e7\u00e3o m\u00faltiplas de m\u00e9dias e an\u00e1lise de medidas repetidas, com ajuste pelo teste de Tukey, ao n\u00edvel de signific\u00e2ncia de 5%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Características físicas dos Cambissolos

#### 4.1.2 Distribuição dos diâmetros de partículas

Na Tabela 3 estão apresentados os valores da distribuição de diâmetro de partículas (areia, silte e argila) dispersos em hidróxido (NaOH) e Água (H<sub>2</sub>O) da Ordem dos Cambissolos, nas subordens Háplico e Flúvico e grandes grupos Eutrófico, onde todos apresentaram um percentual de silte próximo e acima de 50 %, permitindo que todos os solos fossem enquadrados na classe de textura média. Silva; Cavalcanti, 2005 descrevem que a textura dos Cambissolos varia de muito argilosa a média, sendo comumente elevados os teores de silte.

Os Cambissolos ocorrem principalmente nas áreas mais acidentadas, associados geograficamente com os Litossolos. Por este aspecto, os Cambissolos tendem a apresentar maiores teores de silte, pouca espessura do solum, isto é, dos horizontes A e B, tendência ao encrostamento, portanto, constituindo-se num grande desafio no que se refere ao seu uso Vilar, (2021).

Uma característica marcante na Ordem dos Cambissolos presente no recorte territorial do estado de Alagoas, é o elevado teor de silte, mesmo os solos ocorrendo em diferentes regiões do estado (Tabela 3). Os maiores percentuais foram registrados na subordem dos Flúvico, coletado no município de Pão de Açúcar, com um percentual de 70,56%, enquanto o menor percentual foi registrado na subordem Háplico, coletado no município de Major Izidoro, região Semiárida do Estado de Alagoas. Já a concentração de Argila foi maior para o Cambissolo Flúvico de Penedo com 31,63% e menor para o Cambissolo Flúvico de Pão de Açúcar com 10,00% de Argila. Esses resultados são em decorrência da heterogeneidade do material de origem, sua ocorrência em diferentes classes de relevo, das características geoambientais, com reflexos principalmente nas características físicas, conforme relatado por Santos *et al.* (2018).

Tabela 3 - Distribuição de diâmetro das partículas por dispersão em água e em dispersão química (NaOH) de Cambissolos Háplicos, Flúvicos e Eutrófico.

Local	Areia (NaOH)    Areia (H2O)    Silte (NaOH)    Silte (H2O)    Argila (NaOH)    Argila (H2O)						Classe Textural
	.....(%).....						
<b>São Miguel</b>	24,79	29,50	50,71	66,27	24,50	4,23	Média
<b>Major Izidoro</b>	37,37	39,33	49,63	58,67	13,00	2,00	Média
<b>Pão de Açúcar</b>	19,44	30,66	70,56	63,66	10,00	5,68	Média
<b>Penedo</b>	8,045	11,91	60,33	71,09	31,63	17,00	Média
<b>Água Branca</b>	21,64	28,89	60,22	64,61	18,14	6,50	Média

Fonte: Autor (2024).

A textura do solo é a representação proporcional da areia, silte e argila, que apresentam amplitude de tamanho variáveis em virtude do sistema de classificação adotado. No Brasil, a classificação mais difundida é aquela desenvolvido pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo, que representa uma modificação da escala de Atterberg, adotando como limite para separação das frações silte e areia fina o diâmetro 0,05 mm, em vez de 0,02 mm como feito originalmente (Ribeiro *et al.*, 2012). Esta escala é adotada no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, para definição das classes texturais de algumas ordens de solos (Santos *et al.*, 2018).

O Sistema Norte Americano, desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), onde é, mas utilizado em pesquisas, principalmente quando se faz necessário conhecer as subdivisões da classe de areia, que este sistema define em cinco intervalos de diâmetro, que vai de areia muito grossa (2 – 1 mm), areia grossa (1 – 0,5 mm), areia média (0,5 – 0,25 mm), areia fina (0,25 – 0,10 mm) e areia muito fina (0,10 – 0,05 mm), (Cooper, 2015).

#### 4.1.3 Distribuição das Classes de Areia

Na Tabela 4 observa-se a distribuição granulométrica da classe de areia onde o Cambissolo Háplico de Major Izidoro teve as maiores porcentagens de areia grossa (AG) e menor para o Cambissolo Flúvico de Pão de Açúcar, já as porcentagens de areia muito fina (AMF) foi maior para o Cambissolo de Pão de Açúcar com 60,78% e menor para o Cambissolo Háplico da cidade de Major Izidoro. Isto mostra que o Cambissolo Flúvico de Pão de açúcar possui maior facilidade de sofrer erosão por ter grandes quantidades de areia muito fina já que são facilmente transportadas pela enchorrada, diferentemente de solos que

contem maiores porcentagens de areia muito grossa ou grossa, pois possuem uma maior resistência devido ao seu peso.

Fragassi (2001) aponta que a granulometria é a propriedade mais estudada dentre as características físicas do solo com respeito a processos erosivos, Vargas (1977), Fácio (1991), Santos (1997) e Lima (2003) afirmaram que solos mais erodíveis são aqueles que apresentam partículas da ordem de areia fina ou silte e pouca quantidade de argila e a diminuir com o aumento dos conteúdos de areia com diâmetro maior que 0,1 mm e argila.

Tabela 4 - Distribuição das classes de areia em Cambissolos Háplico, Flúvico e Eutrófico.

CIDADES	DISPERSÃO QUÍMICA (NaOH)					
	AMG	AG	AM	AF	AMF	AT
	%					
São Miguel	10,74	15,97	31,18	27,80	14,31	100
Major Izidoro	16,05	22,36	23,12	26,22	12,25	100
Pão de Açúcar	3,39	1,25	3,78	30,80	60,78	100
Penedo	3,56	7,25	13,87	31,64	43,68	100
Água Branca	14,24	17,54	23,29	23,89	21,04	100

**Em que:** AMG: Areia muito grossa; AG: Areia grossa; AM: Areia média; AF: Areia fina; AMF: Areia muito fina; AT: Areia total.

**Fonte:** Autor (2024).

## 4.2 Critérios Hidráulicos de Escoamento

Na Tabela 5, são apresentados os valores das variáveis hidráulicas da Ordem dos Cambissolos, nas subordens Háplicos, Flúvicos e grandes grupos Eutrófico no recorte territorial do estado de Alagoas. O valor de descarga líquida unitária ( $q$ ) variaram de  $0,0012 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para o Cambissolo Flúvico, coletado no município de Pão de Açúcar que apresentou as maiores taxas de escoamento superficial, isso se deve principalmente aos teores elevados de silte (Tabela 3) que contribuíram para a maior desagregação e araste do mesmo. Enquanto o Cambissolo Flúvico, coletado no município de Penedo teve os menores valores de taxas de escoamento superficial, devido aos maiores teores de argila deste solo que contribuíram para uma menor desagregação do solo.

Segundo Ramidan, (2003), a textura do solo atua como fator importante que influencia a erodibilidade por afetar os processos de desagregação e transporte, assim, a erodibilidade tende a aumentar quando os teores de silte e areia muito fina são elevados, e a diminuir, com a elevação dos teores de argila e de matéria orgânica. As argilas comportam-se como elemento agregante do solo, devido à sua alta atividade eletroquímica, enquanto a areia

é transportada com dificuldade devido ao seu peso. Por outro lado, o silte é a porção textural mais suscetível aos agentes erosivos, pois não possui nem a característica agregante da argila, nem o peso da areia.

Tabela 5 - Características hidráulicas do escoamento entressulcos.

<b>Local</b>	<b>q</b> (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	<b>v</b> (m s <sup>-1</sup> )	<b>h</b> (m)	<b>Re</b> ---Adimensional---	<b>Fr</b>
S. Miguel	0,00014 b	0,2902 c	0,00049 a	148,84 b	4,16 c
M. Izidoro	0,00009 a	0,1873 a	0,00048 a	96,940 a	2,70 a
P. Açúcar	0,00012 b	0,2549 b	0,00049 a	132,13 b	3,67 b
Penedo	0,00008 a	0,1961 a	0,00045 a	100,18 a	2,92 a
A. Branca	0,00013 b	0,2902 c	0,00045 a	132,95 b	4,35 c

**Em que:** q = Descarga líquida unitária; V= velocidade média do escoamento; h = altura da lâmina do escoamento; Re = número de Reynolds; Fr = número de Froude.

**Fonte:** Autor (2024).

A velocidade média de escoamento (v), foi maior para os Cambissolos Háplico, coletado no município de São Miguel dos Campos e para o cambissolo Eutrófico que pertence a 3º ordem categórica dos grandes grupos, localizado no município de Água Branca, com valores iguais a 0,2902 m s<sup>-1</sup> (Tabela 5) e o Cambissolo Háplico, coletado no município de Major Izidoro apresentou os menores níveis de velocidade média de escoamento, indicando uma maior taxa de infiltração assim como o solo coletado no município de Penedo que também teve uma taxa de escoamento baixa. A variável altura da lâmina (h) de escoamento foi estatisticamente semelhante entre os solos estudados. Estes resultados foram obtidos em solos sem cobertura vegetal, ou seja, em condições de solo descoberto, com o incremento de cobertura do solo ocorre a diminuição da velocidade e altura do escoamento, em função do aumento da rugosidade hidráulica Cantalice *et al.* (2009).

Os cinco Cambissolos apresentaram regime de escoamento laminar supercrítico (Re < 500 e Fr >1), (Figura 7), é o produto do impacto da gota de chuva sobre o solo, esta ação é mais intensa quando incide sobre um solo desprovido de cobertura, condição estudada nesta pesquisa (Figura 4A e 4B).

### 4.3 Taxas de desagregação, erodibilidade e perda de solo

As taxas de desagregação (Di), observadas para os Cambissolos (Tabela 6), apresentaram um comportamento considerado constante entre os Cambissolos da subordem Háplico e grandes grupos Eutrófico coletados nos municípios de São Miguel dos Campos e Água Branca, diferente dos Cambissolos Flúvicos que apresentaram valores bastante distintos

entre eles, com valores variando de  $0,001447 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para o Cambissolo Flúvico, coletado no município de Pão de Açúcar a  $0,000682 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , para o Cambissolo Flúvico no perfil modal no município de Penedo, enquanto o Cambissolo Háplico, coletado no município de Major Izidoro apresentou uma menor taxa de desagregação em comparação aos demais Cambissolos. A taxa de desagregação está diretamente relacionada com as perdas de solo, como a subordem do Cambissolo Háplico, foi coletado na região do semiárido alagoano, representa uma menor possibilidade de ocorrência das perdas de solos por erosão hídrica, principalmente na região com alta incidência de chuvas erosivas.

Nunes; Cassol (2011), consideram que solos de média textura argilosa, a exemplo dos solos estudados, resultam em taxas de desagregação mais elevadas.

Os resultados obtidos na ordem dos Cambissolos foram semelhantes aos de (Oliveira *et al*, 2008; Souza *et al*, 2017) estudando Planossolos. Os valores de desagregação máxima do solo obtidos nesta pesquisa, podem estar relacionados a baixa drenagem e aos baixos percentuais de argilas, que segundo Kemper; Rosenau; Dexter, (1987), a taxa de desagregação do solo tem uma relação direta com o teor de argila, quanto maior a quantidade de argila maior a área superficial e maior a tensão entre as partículas do solo, ou seja menor desagregação.

Esta característica é observada para o Cambissolo Flúvico coletado no município de Penedo que possui as maiores percentuais argila, em relação aos demais solos, com cerca de 31,63 % (Tabela 2), condizendo assim com os estudos de Kemper; Rosenau; Dexter, (1987), que quanto maior for a concentração de argila menor a desagregação do solo, e o solo de Penedo mostrou-se mais resistente ao processo erosivo com cerca de  $9,35 \times 10^{-6}$ , já o Cambissolo Flúvico de Pão de Açúcar foi mais suscetível, com cerca de  $5,90 \times 10^{-5}$  (Tabela 6).

Tabela 6 - Características do escoamento e Perda de solo entressulcos com chuva simulada em Cambissolos Háplicos, Flúvicos e Eutrófico do estado de Alagoas.

Tratamentos	Di ( $\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Ki ( $\text{kg s m}^{-4} \times 10^{-5} \text{ e } 10^{-6}$ )	Ps Kg m <sup>2</sup>
S. Miguel	0,00064 a	$2,78 \times 10^{-5}$ c	12,85 a
M. Izidoro	0,00061 a	$1,92 \times 10^{-5}$ b	12,16 a
P. Açúcar	0,00145 b	$5,90 \times 10^{-5}$ d	28,94 b
Penedo	0,00068 a	$9,35 \times 10^{-6}$ a	13,66 a
A. Branca	0,00069 a	$2,71 \times 10^{-5}$ c	13,77 a

**Em que:** Di = Desagregação do solo em entressulcos; Ki = fator erodibilidade do solo em entressulcos; Ps = Taxas de perdas de solos.

**Fonte:** Autor (2024).

Os fatores de erodibilidade em entressulcos dos diferentes Cambissolos, Háplicos,

Flúvicos e grandes grupos Eutrófico coletados nos municípios de São Miguel, Major Izidoro, Pão de Açúcar, Penedo e Água Branca são de  $2,78 \times 10^{-5}$ ,  $1,92 \times 10^{-5}$ ,  $5,90 \times 10^{-5}$ ,  $9,35 \times 10^{-6}$  e  $2,71 \times 10^{-5}$  respectivamente. Esses valores situam-se dentro da faixa de variação do fator Ki obtidos por Alberts *et al.* (1995), que é definida entre os valores de  $0,5 \times 10^6$  a  $12 \times 10^6$  kg s m<sup>-4</sup> e que consiste na base para o modelo WEPP (Alberts *et al.*, 1995).

Gonçalves (2008); Bezerra; Cantalice (2006) estudando Argissolo Vermelho – Amarelo obteve em campo, por meio de chuva simulada, valor médio para a erodibilidade em entressulcos bastantes semelhantes aos obtidos nesta pesquisa. (Franco, 2012; Reichert e Norton, 2013) concluíram que a erodibilidade entressulcos tende a diminuir em solos tropicais que apresentam aumento dos teores de argila total, carbono orgânico e óxidos de ferro. Isso porque o carbono orgânico e os óxidos de ferro são atributos do solo que atuam como agentes cimentantes no processo de formação de agregados, conferindo ao solo maior resistência aos impactos das gotas de chuva, tornando-o mais estável e dificultando o seu carreamento pelo escoamento superficial.

O fator de erodibilidade do solo em entressulcos é dependente apenas das características intrínsecas do solo, ou seja, depende do tipo de solo. Na Literatura encontramos uma grande variação de valores de erodibilidade em entressulcos em trabalhos realizados com vários tipos de solos, em condições de campo e de laboratório e em diferentes regiões do Brasil. Segundo Truman; Bradforf, (1995) atribuem este amplo espectro de valores às metodologias usadas e as variações granulométricas dos solos.

Na Tabela 6 observa-se que o Cambissolos Háplico e Eutrófico de São Miguel e Água Branca não se diferenciaram entre si, apresentando valores estatisticamente iguais, já o Cambissolo Flúvico de Pão de Açúcar apresentou as maiores taxas de erodibilidade e desagregação do solo, indicando uma maior vulnerabilidade do solo ao processo erosivo.

O Cambissolo Flúvico de Penedo apresentou a menor taxa de erodibilidade do solo indicando uma maior resistência ao processo erosivo, isto pode ser explicado devido a uma maior concentração de argila deste solo (Tabela 3), além disso, as características do ambiente onde o solo se encontra influenciam diretamente na resistência do solo ao processo erosivo, como este solo, que foi coletado em ambiente rico em matéria orgânica, e com baixa declividade o que contribuiu para melhor preservação do mesmo ao processo erosivo. Já solos que são encontrados em locais declivosos, possuem maiores suscetibilidades de sofrerem altos níveis de erosões ao longo do tempo, a quantidade de chuva, tipo de solo, cobertura e uso do solo também interferem diretamente nesses processos erosivos.

As taxas de perda de solo foram maiores para o Cambissolo Flúvico de Pão de

Açúcar com cerca de 28,94 kg m<sup>2</sup>, correlacionado assim com os maiores níveis de desagregação e erodibilidade do mesmo, já os demais apresentaram valores de perda de solo estatisticamente semelhantes entre si (Tabela 6).

Segundo Franco *et al.* (2012) a erodibilidade de um solo pode variar conforme o tempo e o local ao qual o mesmo se dispõe, apresentando diferenças intrínsecas a cada solo conforme as características e propriedades físicas (textura, estrutura, permeabilidade, densidade e profundidade), químicas, biológicas (matéria orgânica) e mineralógicas do mesmo.

Na tabela 7 estão sendo apresentados as análises de variância ANOVA, que foram realizadas para os coeficientes de erodibilidade do solo. Observa-se que todas as variáveis exceto a variável altura da lâmina de escoamento (h) apresentaram diferença estatística entre elas, já que o valor (p) foi menor que 0,05, rejeitou-se H<sub>0</sub>. A altura de lâmina de escoamento (h) não apresentou nenhuma significância, ou seja, foi estatisticamente igual, já que o valor (p) foi maior que 0,05, aceitou-se H<sub>0</sub>.

Todas as variáveis apresentaram um coeficiente de variação (CV) dentro dos padrões aceitáveis da estatística, tendo uma boa precisão entre eles, com valores variando entre 10,88% para a variável erodibilidade do solo em entressulcos (K<sub>i</sub>) a 4,91% da variável altura da lâmina de escoamento (h).

Tabela 7 - Análises de variância (ANOVA) dos coeficientes de erodibilidade dos Cambissolos.

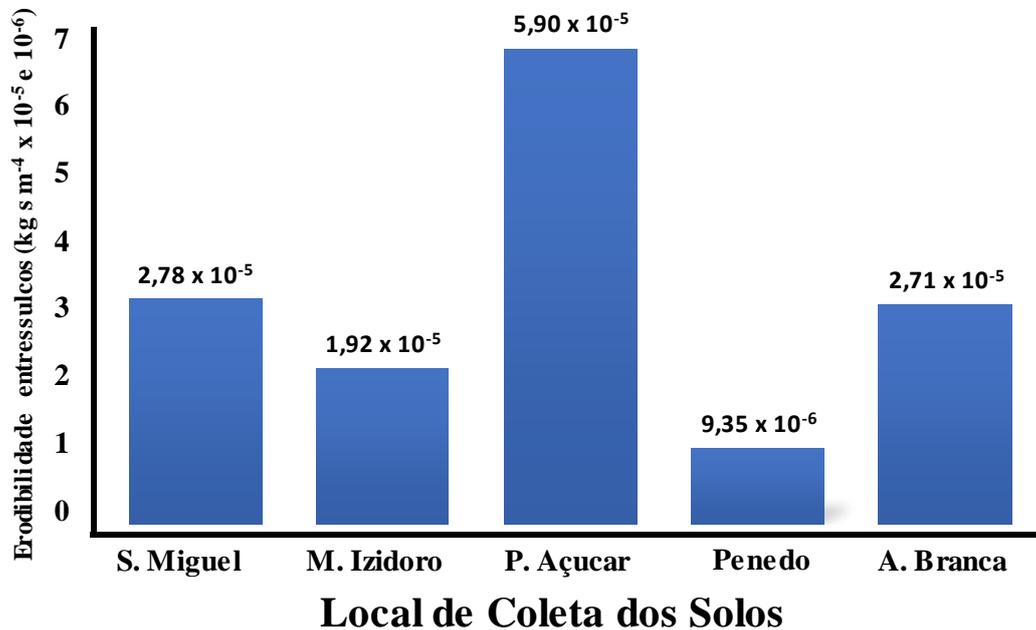
Fonte de Variação	Quadrados Médios				
	Descarga Líquida Unitária (q)				
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	7,162E <sup>-0009</sup>	1,790E <sup>-0009</sup>	11,34	0,0010
Resíduos	10	1,578 E <sup>-0009</sup>	1,578E <sup>-0010</sup>		
CV%	10,87				
Velocidade média do Escoamento (v)					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	0,0297	0,0074	25,45	0,0000
Resíduos	10	0,0029	0,0002		
CV%	7,01				
Altura da Lâmina do Escoamento (h)					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	4,146E <sup>-0009</sup>	1,036E <sup>-0009</sup>	1,928	0,182
Resíduos	10	5,375E <sup>-0009</sup>	5,375E <sup>-0010</sup>		
CV%	4,91				
Número de Reynolds (Re)					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	6140,32	1535,08	9,598	0,0019
Resíduos	10	1599,41	159,94		
CV%	10,35				
Número de Froude (Fr)					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	6,463	1,615	39,693	0,0000
Resíduos	10	0,407	0,040		
CV%	5,67				
Desagregação do Solo em Entressulcos (Di)					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	0,000002	3,792E <sup>-0007</sup>	53,802	0,0000
Resíduos	10	7,049E <sup>-0008</sup>	7,049E <sup>-0009</sup>		
CV%	10,32				
Fator erodibilidade do solo em entressulcos (Ki)					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	4.153E <sup>-0009</sup>	1.038E <sup>-0009</sup>	108.170	0.0000
Resíduos	10	9.600E <sup>-0011</sup>	9.600E <sup>-0012</sup>		
CV%	10,88				

**Em que:** CV: Coeficiente de Variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: estatística f; Pr>Fc: Valor p.

**Fonte:** Autor (2024).

Na Figura 8, observa-se os níveis de erodibilidade dos Cambissolos estudados, onde o Cambissolo Flúvico de Pão de Açúcar teve os maiores níveis de erosão, devido às maiores concentrações de silte desse solo o que possibilitou uma maior susceptibilidade ao processo erosivo, pois, a erodibilidade é fortemente influenciada pelas condições de superfície do solo, representadas pela ausência ou presença de cobertura vegetal, a rugosidade da superfície do solo e a declividade do terreno, sendo a intensidade de precipitação, a topografia e as propriedades do solo os principais fatores que interferem na erosão em entressulcos (Amorim *et al.* 2001; Defersha *et al.* 2011).

Figura 8 - Fator de erodibilidade do solo em entressulcos para a classe dos Cambissolos Flúvicos, Háplicos e Eutrófico coletados nos perfis modais nos municípios de São Miguel, Major Izidoro, Pão de Açúcar, Penedo e Água Branca no recorte territorial do estado de Alagoas.



Fonte: Autor (2024).

#### 4.4 Estimativa do fator erodibilidade do solo em entressulcos por modelos matemáticos

Na Tabela 8, estão sendo apresentados os valores da erodibilidade do solo em entressulcos estimada por modelos matemáticos, entre eles o modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) proposto por Albert *et al.* (1995), de Lombardi Neto; Bertoni, (1990), de Lima *et al.* (2003) e um modelo proposto por Buoyoucos, modificado por Lombardi Neto; Bertoni (1990).

O modelo WEPP Alberts *et al.* (1995), utilizado para estimar o fator erodibilidade do solo entressulcos de forma indireta, utilizando os teores de areia muito fina (AMF) e de argila, dependendo do teor de areia na composição granulométrica do solo. Para solos que contém 30% ou mais de areia na superfície, utilizamos os percentuais de areia muito fina (AMF) e para solos com menos de 30% de areia, utilizamos o percentual de argila.

O fator erodibilidade do solo, apresentado na (Tabela 8) mostra o modelo WEPP para os cinco Cambissolos, nas duas subordens Háplico e Flúvico e grandes grupos Eutrófico para o Estado de Alagoas. Os resultados do fator erodibilidade do solo estimado pelo modelo

superestimaram em 1,00 a 10,02 vezes o fator erodibilidade em entressulcos dos Cambissolos estudados, quando comparados com os valores do fator erodibilidade do solo observados pelos testes de chuva simulada em condições de laboratório (Tabela 6). Fato verificado por Duiker *et al.* (2001) utilizando o modelo WEPP em alguns solos da Espanha, verificou uma superestimação dos valores de  $K_i$ , variando de duas a quatro vezes o valor do fator erodibilidade em entressulcos. Fato também observado por Franco *et al.* (2012) estudando Argissolo Vermelho, verificou que o modelo WEPP superestimou em 1,87 vezes o valor ( $K_i = 1,82 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$ ) do fator de erodibilidade do solo em entressulcos obtido experimentalmente em laboratório sob chuva simulada.

A superestimação dos valores de fator erodibilidade do solo em entressulcos promovidas pelo modelo WEPP estão relacionados possivelmente a origem deste modelo, que foi desenvolvido em condições de clima temperado, que apresenta um menor estágio de intemperismo quando comparados aos solos tropicais Nunes, (2006). Albuquerque (1998), atribui a superestimação dos valores do fator  $K_i$ , as diferenças entre as metodologias de determinação do fator  $K_i$ . Apenas a granulometria não é suficiente para estimativa do fator  $K_i$  dos solos Espanhóis (Duiker *et al.*, 2006). A granulometria oferece uma certa resistência às forças erosivas que promovem a desagregação (Meyer; Harmon, 1984) a mesma pode não ser suficiente para estimativa da erodibilidade do solo em entressulcos (Nunes, 2006).

Tabela 8 - Valores do fator erodibilidade do solo em entressulcos por métodos indiretos (modelos matemáticos).

CIDADE	WEPP $\text{kg s m}^{-4} \times 10^6$	Lombardi Neto;		
		Bertoni	Lima	Bouyoucos
		----- $\text{Mg ha h}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ -----		
São Miguel	27,8886	0,0070	0,0298	0,031
Pão de Açúcar	59,0459	0,0568	0,0946	0,090
Água Branca	27,0945	0,0197	0,0469	0,045
Penedo	9,33433	0,0169	0,0265	0,022
Major Izidoro	10,1909	0,0118	0,0634	0,066

Fonte: Autor (2024).

Na tabela 8, são apresentados os valores do fator de erodibilidade do solo em entressulcos estimados pelos modelos propostos por Lombardi Neto; Bertoni, (1975), Lima *et al.*, 1990; Bouyoucos, modificado por Lombardi Neto; Bertoni, (1990), para os cinco Cambissolos, nas duas subordens Háplico e Flúvico e grandes grupos Eutrófico no Estado de Alagoas. Os três modelos propostos subestimaram os valores do fator erodibilidade do solo em entressulcos para os cinco Cambissolos estudados nesta pesquisa, estes modelos não se

mostraram adequados para estimar o fator de erodibilidade em entressulcos. Resultados semelhantes foram obtidos por Albuquerque (1998); Nunes (2006); Cassol (2008), estudando Argissolos e Latossolos do Rio Grande do Sul.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fator erodibilidade do solo em entressulcos ( $K_i$ ) para os cinco Cambissolos apresentaram valores bastante distintos entre eles, com valores variando de 0,000682 ( $\text{kg s m}^{-4} \times 10^{-5}$  e  $10^{-6}$ ), para o Cambissolo Flúvico no perfil modal no município de Penedo e maior de 0,001447 ( $\text{kg s m}^{-4} \times 10^{-5}$  e  $10^{-6}$ ), para o Cambissolo Flúvico, coletado no município de Pão de Açúcar, os demais apresentaram valores bem próximos, sendo estatisticamente iguais o fator de erodibilidade para o Cambissolo Háplico de São Miguel e Eutrófico de Água Branca.

O modelo WEPP superestimou os valores de erodibilidade do solo em entressulcos, observando-se os dados obtidos nesta pesquisa concluímos que o referido modelo não deve ser utilizado na estimativa dos valores do fator erodibilidade para os Cambissolos do estado de Alagoas.

Os modelos matemáticos subestimaram os valores do fator erodibilidade do solo para os Cinco Cambissolos estudados.

Para determinar o fator erodibilidade nos cambissolos estudados, recomenda-se a utilização da metodologia de chuva simulada, em condições de campo ou de laboratório através do WEPP já que este modelo apresentou valores mais aceitável em comparação aos demais modelos matemáticos.

## REFERÊNCIAS

- ALBERTS, E. E. *et al.* Soil component. *In: FLANAGAN, D.C.; NEARING, M.A. (Eds.) Water Erosion Prediction Project – WEPP.* West Lafayette: USDA, 1995, p.1-47 (Report, 10).
- ALBUQUERQUE, J. A. **Suscetibilidade de alguns solos do Rio Grande do Sul à erosão em entressulcos.** 1998. 154f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1998.
- AMORIM, R. 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**, 5(1), 124-130, 2001.
- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. *In: Pruski, F. F. Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.* 2.ed. Viçosa: Ed. UFV. 2009. 279p.
- ARAÚJO, F. J. C. *et al.* Solos da Caatinga. Cap. V. *In: Pedologia: Solos dos Biomas Brasileiros.* Editores Nilton Curi et al. 1. Ed. Viçosa, MG: SBCS, 2017, p.227-260. ARAÚJO, F.S. *et al.* Estimativa da erodibilidade de Latossolos do Piauí. **R. Scientia Plena**, v.7, n.10, 2011.
- BENIAICH, A. *et al.* **Determination of vegetation cover index under different soil management systems of cover plants by using an unmanned aerial vehicle with an onboard digital photographic camera.** *Semin - Cienc Agrar.* 2019; 40:49-66.
- BERTOL, I.; CASSOL, E. A.; BARBOSA, F. T. Erosão do Solo. Cap. XIV. *In: Bertol, I.; De Maria, I.C.; Souza, L.S., editores. Manejo e conservação do solo e da água.* Viçosa, MG: SBCS, 2018, p.424-458.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba: Ícone, 1990, 392p.
- BERTOL, I.; CASSOL, E.A.; BARBOSA, F.T. Erosão do solo. *In: Manejo e conservação do solo e da água.* Editores Ildegardis Bertol, Isabella Clerici De Maria, Luciano da Silva Souza. Viçosa, MG: SBCS, 2018.
- BERTOL, O. J. *et al.* Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. Lages, SC: **R. Bras. Ci. Solo**, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QJWPVKwsHVGnNkwtRbqHmCH/#>. Acesso em: 30 jan. 2024.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 7. ed. São Paulo: Editora Ícone, 2010.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, v.30, p.565-573, 2006.

CANTALICE, J. R. B. *et al.* Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividade e doses de cobertura morta. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.2, p.68-74, 2009.

CASTRO FILHO, C. *et al.* Land degradation assesment: tools and techniques for measuring sediment load. *In: International conference on land degradation and meeting of the iuss subcommissione – soil and water conservation*, 3., 2001, Rio de Janeiro. Proceedings... Rio de Janeiro: Embrapa Solos: SBCS: IUSS, 2002. 1 CD ROM.

CASALI, J.; GIMÉNEZ, R.; BENNETT, S. **Gullyerosion processes: monitoring and modelling. Earth Surface Processes and Landforms**, v.34, p.1839-1840, 2013.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. **Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo**. *Pesq. Agropec. Bras.* 2003, v.38, p.117-124.

CASSOL, E. A. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1239-1251, 2008.

COOPER, M. **Granulometria e textura do solo**. [S. l.], 2015. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/576877/mod\\_resource/content/1/Aula%201%20-%20Granulometria%20e%20Textura%20do%20Solo.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/576877/mod_resource/content/1/Aula%201%20-%20Granulometria%20e%20Textura%20do%20Solo.pdf). Acesso em: 2 fev. 2024.

COUTO, B. de. O. C. **Análise de erodibilidade em taludes com horizontes resistentes e suscetíveis aos processos erosivos**. Orientador: Prof. Dr. Romero César Gomes. 2015. 125 f. Dissertação de Mestrado em Erosão e Conservação de Solos - Universidade Federal de Ouro Preto, OURO PRETO, 2015. Disponível em: [https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6448/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_An%C3%A1liseErodibilidadeTaludes.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6448/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_An%C3%A1liseErodibilidadeTaludes.pdf). Acesso em: 1 fev. 2024.

CUNHA, T. J. F. *et al.* **Cambissolos**. [S. l.], 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/cambissolos>. Acesso em: 5 dez. 2023.

DEFERSHA, M. B., QURAIISHI, S., MELESSE, A. **The effect of slope steepness and antecedent moisture content on interrill erosion, runoff and sediment size distribution in the highlands of Ethiopia**. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(7), 2367-2375, 2011.

DENARDIN, J. E.; WUNSCHE, W. A. **Erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro**. *In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do solo*, 3., Recife, 1981. Anais. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1980, p.219.

DIAS, J. A. A. **Análise sedimentar e o conhecimentos dos sistemas marinhos: (Uma Introdução à Oceanografia Geológica)**. [S. l.], 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236551412>. Acesso em: 30 jan. 2024.

DUIKER, S. W. *et al.* Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.88, p.30-41, 2006.

DUIKER, S. W.; FLANAGAN, D. C.; LAL, R. **Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain**. *Catena*, Amsterdam, v.45, p. 103-121, 2001.

ELLISON, W. D. **Soil erosion studies** - part I. Agricultural Engineering, St. Joseph, v. 28, n. 4, p. 145-146, Apr. 1947.

FAVIS-MORTLOCK, D. T. Erosion by Water: Accelerated. *In*: JORGENSEN, S. E. (Ed.) **Encyclopedia of Environmental Management**. CRC Press, 2012.

FILHO, J. M. da. R. **Solos**. Rio Grande do Sul: EMBRAPA, 1999. Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/solos.htm>. Acesso em: 22 dez. 2023.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. *In*: HAAN, C. T. (Ed.). **Hydrologic modeling of small watersheds**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982. p. 297-380. (ASAE Monograph, 5).

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO / **Intergovernmental Technical Panel on Soils - ITPS**. Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome: FAO / ITPS; 2015. Available from: <http://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf>.

FRAGASSI, P. F. M. **Estudo da Erodibilidade dos Solos Residuais de Gnaisse da Serra de São Geraldo e de Viçosa**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, UFV, Viçosa, MG, 2001.

FRANCO, A. M. P. *et al.* Erodibilidade do solo em entressulcos determinada experimentalmente e por modelos matemáticos em um Argissolo Vermelho. **R. Bras. Agrociência**. Pelotas, v.18, n.2-4, p.175-187, 2012.

FREITAS, P. L. de. Harmonia com a natureza. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 22, n.2, p. 12-17, fev. 2002.

FREITAS, P. L. de.; MANZATTO, C. V.; COUTINHO, H. L. da. C. A crise de energia e a degradação dos recursos naturais: solo, ar, água e biodiversidade. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 7-9, 2001.

GARCÍA-RUIZ, J. M. *et al.* **Ongoing and emerging questions in water erosion studies**. **Land Degrad Dev**. 2017; 28:5-21.

GODFRAY, H. C. J. *et al.* **Food security: the challenge of feeding 9 billion people**. *Science*, v.327, p.812-818, 2010. <https://doi.org/10.1126/science.1185383> KAAC, L.H.; KATUL, G.G. Fifty years to prove Malthus right. *PNAS*. 2013; 110: 461-2.

GONÇALVES, F. A. **Validação do modelo WEPP na predição de erosão hídrica para condição edafoclimática da região de Viçosa-MG**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, 128 p, 2008.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Amsterdam: Elsevier, 1997. 448 p. (Developments in Soil Science, 25).

GUERRA, A. J. T. *et al.* **Análise da erodibilidade de um cambissolo por meio de um transecto em encosta íngreme da bacia hidrográfica do rio pequeno, paraty – RJ**. Campinas - SP: Instituto de Geociências - Unicamp, 2 jul. 2017. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/1931/2486>. Acesso em: 31 jan. 2024.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. *In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.* 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 149-209.

HERNANI, L. C. *et al.* A Erosão e seu Impacto. *In: MANZATTO, C. V. et al. Uso Agrícola dos Solos Brasileiros.* 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. cap. 5, p. 61 - 74. ISBN 85-85864-10-9.

HUDSON, N. **Soil conservation.** Ithaca: Cornell University Press, 1997, 320p.

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.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C.; DEXTER, A. R. Cohesion development in disrupted soils as affected by Clay and organic matter content and temperature. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 4, p. 860-867, 1987.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 27).

LIMA, M. C. **Degradação físico-química e mineralógica de maciço junto às voçorocas,** Tese (Doutorado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

MAFRA, N. M. C. Erosão e Planificação de Uso do Solo. *In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações.* 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 301-322.

MALENA, R.; AURÉLIO, J. Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. **Revista Escola de Minas, Ouro Preto,** v. 54, n. 2, p.1-8, jun. 2001.

MARTINS, S. G. *et al.* **Erodibilidade do solo nos Tabuleiros Costeiros.** *Pesq. Agropec. Trop. Goiânia,* v.41, n.3, p.322-327, 2011.

MCBRATNEY, A.; FIELD, D. J.; KOCH, A. **The dimensions of soil security.** *Geoderma.* 2014; 213:203-13.

MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, Wisconsin, USA,* v.48, p. 1152- 1 157, 1984.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation.** 3. ed. England: Blackwell, 2005.

NUERNBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto.** Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 1998. 160 p.

NUNES, M. C. M.; CASSOL, E. A. Produção de sedimentos pela erosão em entressulcos em três Latossolo do Rio Grande do Sul. **Ver. Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental**, v, 15, n.6, p.541-547, 2011.

NUNES, M. C. M. **EROSÃO HÍDRICA EM ENTRESSULCOS DE LATOSSOLOS DO RIO GRANDE DO SUL**. 2006. 175 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2006. Disponível em:  
<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10669/000599187.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 2 fev. 2024.

OLIVEIRA, F. P. de. *et al.* Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o estado da paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n.2, p.60-71, 2008.

OLIVEIRA, J. R. *et al.* Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 14, n.2, p. 140 - 147, 2010.

PANACHUKI, E. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 10, n. 2, p. 261 - 268, 2006. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/LCDZVsgycGzbb3BSrdsqx7B/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 1 fev. 2024.

PRUSKI, F. F. Aplicação de modelos físico-matemáticos à engenharia de conservação de água e solo. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS, J. R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Ed.) **Agricultura, sustentabilidade, e o semi-árido**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará; Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.231-296.

PRUSKI, E. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2.ed. Viçosa: Ed UFV, 2009.279 p.

RAMIDAN, M. A. S. **Estudo de um Processo de Voçorocamento próximo a UHE de Itumbiara –GO**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D. **Rill and interrill erodibility and sediment characteristics of clayey Australian vertosols and a ferrosol**. Soil Research, vol. 51, n. 1, p. 1-9, 2013. <https://doi.org/10.1071/SR12243>.

RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. Caracterização morfológica do solo. In: KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P., (Ed.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. cap. 3, p. 47-80.

SÁ, M. A. C. de *et al.* **Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural**. Lavras, Minas Gerais: Universidade Federal de Lavras, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/Nb7958nHddvVbgtQCmYcZdj/#>. Acesso em: 28 jan. 2024.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018, 353p.

SANTOS, J. C. P. dos. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas (ZAAL)**. [S. l.]: Embrapa Solos, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/30488/integracao-do-zoneamento-agroecologico-do-estado-de-alagoas>. Acesso em: 2 fev. 2024.

SANTOS, R. C.; PEREIRA, L. S.; GUERRA, A. J. T. **Análise da erodibilidade de um cambissolo por meio de um transecto em encosta íngreme da bacia hidrográfica do rio pequeno, paraty – RJ**. 1. Rio de Janeiro, 4 fev. 2018. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/1931>. Acesso em: 23 out. 2023.

SANTOS, R. M. M. **Caracterização Geotécnica e Análise do Processo Evolutivo das Erosões no Município de Goiânia**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, UnB, Brasília, Distrito Federal, 1997.

SCHÄFER, M. J. *et al.* Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. Santa Maria (RS): **R. Bras. Ci. Solo**, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Zw7TdmFg3PFvf9gZDzhgrYS/?format=pdf>. Acesso em: 28 jan. 2024.

SILVA, G. R. V. *et al.* Soil, water and nutrient losses by interrill erosion from Green cane cultivation. **R. Bras. Ci. Solo**, v.36, p.963-970, 2012.

SILVA, M. L. N. *et al.* Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1207-1220, 2000.

SOUZA, D. T. M. *et al.* Análise da fragilidade a erosão nos Planossolos do noroeste do polo de Jeremoabo, bahia. **Revista UD Y LA Geomática**. N. 12, p.35-40, 2017.

SOUZA, L. da. S. Terminologia básica utilizada em manejo e conservação do solo e da água. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. da. S. **MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**. Viçosa, MG: SBCS: Bertol, De. M. I. C.; Suza, L. S, 2018. cap. I, p. 6 - 22. ISBN 978-85-86504-25-9.

TAGUAS, E. V. *et al.* **Spatial and temporal variability of spontaneous grass cover and its influence on sediment losses in an extensive olive orchard catchment**. *Catena*. 2017; 157:58-66.

TRUMAN, C. C., BRADFORD, J. M. Laboratory determination of interrill soil erodibility. **Soil Science Society of America Journal.**, 59:519-526, 1995.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**: Editora MacGraw Hill, São Paulo, SP, 1978.

VILAR, D. **Classes de Solo e Irrigação**: Portal Agriconline. [S. l.], 19 ago. 2021. Disponível em: <https://agronline.com.br/portal/artigo/classes-de-solo-e-irrigacao/>. Acesso em: 22 dez. 2023.

WANG, B. *et al.* Soil erodibility for water erosion: a perspective and Chinese experiences. **Geomorphology**. v. 187, p. 1-10, 2013.

WASSON, R. Detection and measurement of land degradation processes. *In*: **LAND degradation: problems and policies**. Melbourne: University of Cambridge, 1987. p. 49-69.

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

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions - American Geophysical Union**, v. 39, p. 285-291, 1958.