



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CAMPUS DE POMBAL-PB**

ANA CECÍLIA NOVAES DE SÁ

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO NOS
PROCESSOS DE EROÇÃO HÍDRICA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

POMBAL-PB

2018

ANA CECÍLIA NOVAES DE SÁ

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO NOS
PROCESSOS DE EROÇÃO HÍDRICA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Jussara Silva Dantas

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Ismênia Ribeiro de Oliveira

POMBAL-PB

2018

S111i Sá, Ana Cecília Novaes de.
Influência da variabilidade espacial dos atributos do solo nos processos de erosão hídrica no semiárido paraibano / Ana Cecília Novaes de Sá. – Pombal, 2018.
50 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2018.

"Orientação: Profa. Dra. Jussara Silva Dantas".

"Co-orientação: Profa. Dra. Ismênia Ribeiro de Oliveira".

1. Manejo do solo. 2. Variabilidade espacial. 3. Degradação ambiental. 4. Erosão. 5. Geoestatística. I. Dantas, Jussara Silva. II. Oliveira, Ismênia Ribeiro de. III. Título.

CDU 631.4(043)

ANA CECÍLIA NOVAES DE SÁ

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO NOS
PROCESSOS DE EROÇÃO HÍDRICA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

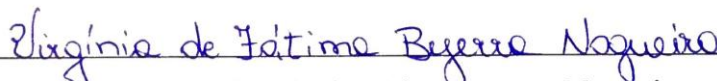
Orientadora: Prof^ª. Dra. Jussara Silva Dantas

Aprovado em 06/12/2018

BANCA EXAMINADORA



Prof^ª. Dra. Jussara Silva Dantas
Orientador – UFCG/*Campus* de Pombal – PB



Prof^ª. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira
Examinador Interno – UFCG/*Campus* de Pombal - PB



MSc. Francisco Alves da Silva
Examinador Externo – UFCG/*Campus* de Pombal - PB

Pombal-PB

Dezembro 2018

Aos meus pais e à minha irmã, por todo
apoio, amor, carinho e cuidado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar e me fortalecer em cada passo da minha vida, me dando coragem para concluir mais um ciclo.

Aos meus pais, Maria da Conceição e Luis Selso, vocês são meu alicerce, obrigada por tudo que fazem por mim, por toda dedicação, apoio, amor e paciência comigo, sem vocês eu não teria chegado até aqui.

A minha irmã, Victória Eduarda, por me incentivar, ajudar e apoiar em todas as decisões da minha vida, você também contribuiu para que chegasse aqui.

À Natanael Batista, por estar comigo desde o início do curso, compartilhando momentos de alegria e de dificuldades, sendo sempre um parceiro e amigo cuidadoso, atencioso, e amoroso. Com certeza foi uma das melhores pessoas que a UFCG me proporcionou conhecer.

A minha orientadora e segunda mãe, Jussara Dantas, que sempre acreditou e confiou no meu potencial. Só tenho a agradecer por todos os ensinamentos e dedicação ao longo desses anos.

Aos professores da Unidade Acadêmica de Ciência e Tecnologia Agroalimentar, em especial aos professores Virgínia de Fátima e Walker Gomes, que são profissionais bastante queridos por mim.

A seu Francisco, por toda ajuda e dedicação ao longo desses anos, sempre bem humorado e com paciência.

Aos amigos maravilhosos que tive o prazer de conhecer ao longo dessa trajetória, Airton, Alice, Cajé, Emily, Erivan, Fagna, Gleyton, Ianka, Lilian, Lucas Fernandes, Lucas Santos, Marcelino, Mariana, Maria Taynar, Renata, Rodrigo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas do processo de erosão	21
Figura 2 – Localização da área de estudo.....	23
Figura 3 - Grid dos pontos de coleta do Neossolo e Vertissolo	24
Figura 4 - Mapas de krigagem da areia total, silte e argila em Vertissolo (A) e Neossolo (B)	35
Figura 5 - Mapas de krigagem do diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado em Neossolo (A) e Vertissolo (B).....	36
Figura 6 - Mapa de isolinhas da umidade em Neossolo (A) e Vertissolo (B)	36
Figura 7 - Mapas de isolinhas da densidade de partículas (Dp) no Neossolo (A) e Vertissolo (B)	37
Figura 8 - Mapas de isolinhas da densidade do solo (Ds) e porosidade total (PT) no Neossolo (A) e Vertissolo (B).....	38
Figura 9 - Pontos de erosão identificadas nas áreas de Neossolo e Vertissolo	39
Figura 10 - Etapa de preparo do solo para implantação de experimentos	40
Figura 11 - Mapa de declividade da área de estudo	40
Figura 12 - Mapa das classes do índice MRVBF	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Distribuição das classes de declividade.....	30
TABELA 2 - Estatística descritiva dos atributos físicos do Neossolo.....	32
TABELA 3 - Estatística descritiva dos atributos físicos do Vertissolo.....	32
TABELA 4 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os atributos em um Neossolo.....	33
TABELA 5 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os atributos em um Vertissolo.....	34
TABELA 6 - Distribuição das classes de declividade e suas respectivas áreas	41

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Classes de erosão e suas respectivas descrições	29
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Uso e Ocupação do Solo no Semiárido	14
3.2 Atributos Físicos do Solo	15
3.2.1 <i>Textura do Solo</i>	15
3.2.2 <i>Estrutura do Solo</i>	16
3.2.3 <i>Porosidade do Solo</i>	17
3.2.4 <i>Densidade do Solo e Densidade de Partículas</i>	18
3.3 Variabilidade Espacial dos Atributos do Solo	19
3.4 Erosão do Solo	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Área de Estudo	23
4.2 Metodologia	24
4.2.1 <i>Amostragem do Solo</i>	24
4.2.2 <i>Análises dos Atributos Físicos</i>	24
4.2.3 <i>Estatística Descritiva</i>	27
4.2.4 <i>Análise Geoestatística</i>	27
4.2.5 <i>Avaliação dos Pontos de Erosão Hídrica</i>	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 Estatística Descritiva e Análise Geoestatística dos Dados	31
5.2 Identificação e Análise dos pontos de Erosão	38
6 CONCLUSÕES	43
7 REFERÊNCIAS	44

Sá, Ana Cecília Novaes de. **Influência da variabilidade espacial dos atributos do solo nos processos de erosão hídrica no Semiárido Paraibano**. 2018. 50 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2018.

RESUMO

A variabilidade do solo ocorre de forma natural e pode ser intensificada pelas ações antrópicas. Conhecer a variabilidade do ambiente é imprescindível para a adoção de práticas de manejos adequados, minimizando erros de amostragem, e reduzindo impactos ambientais. Um dos processos de degradação influenciados pela variabilidade é a erosão, que quando agravados, causam prejuízos econômicos e ambientais. Esse estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental da UFCG/CCTA, localizada no município de São Domingos, com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e sua influência nos processos erosivos. Foram analisadas duas áreas, classificadas como Neossolo e Vertissolo, para cada área foi instalado um grid de coleta, com 80 pontos amostrais, totalizando 160 amostras, na profundidade de 0 – 20 cm. Os atributos físicos analisados foram densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, umidade, textura e estabilidade de agregados. A variabilidade espacial dos atributos foi representada por meio de semivariogramas e de mapas de krigagem, no qual foi constatado que todos os atributos, em ambos os solos, apresentaram dependência espacial. Além disso, foi realizada a identificação de pontos de erosão in loco, e gerado mapas de declividade para verificar a influência do relevo na susceptibilidade do solo à erosão, e um mapa por meio de um índice para visualizar as áreas de erosão e sedimentação. Foi evidenciado que a declividade não apresentou influência nos processos erosivos, visto que as áreas foram classificadas como planas, concluindo que apenas as variáveis relacionadas a pedologia do solo atuaram nesse processo.

Palavras-chave: Geoestatística. Manejo do solo. Degradação ambiental.

Sá, Ana Cecília Novaes de. **Influence of spatial variability of soil attributes on water erosion processes in the Paraíba Semi-arid**. 2018. 50 fls. Work of Course Conclusion (Graduation in Environmental Engineering) - Federal University of Campina Grande, Pombal-PB. 2018.

ABSTRACT

Soil variability occurs naturally and can be intensified by anthropogenic actions. Knowing the variability of the environment is essential for the adoption of adequate management practices, minimizing sampling errors, and reducing environmental impacts. One of the processes of degradation influenced by variability is erosion, which when aggravated, causes economic and environmental damages. This study was developed at the Experimental Farm of the UFCG / CCTA, located in the municipality of São Domingos, with the objective of evaluating the spatial variability of soil physical attributes and its influence on erosive processes. Two areas, classified as Neossolo and Vertissolo, were analyzed for each area. A collection grid was installed, with 80 sampling points, totaling 160 samples, at a depth of 0 - 20 cm. The physical attributes analyzed were soil density, particle density, total porosity, moisture, texture and aggregate stability. The spatial variability of the attributes was represented by semivariograms and kriging maps, in which it was verified that all the attributes in both soils presented spatial dependence. In addition, erosion points were identified in situ, and slope maps were generated to verify the influence of relief on soil susceptibility to erosion, and a map by means of an index to visualize erosion and sedimentation areas. It was evidenced that the slope had no influence on the erosive processes, since the areas were classified as flat, concluding that only the variables related to soil pedology acted in this process.

Keywords: Geostatistics. Soil management. Ambiental degradation

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos solos é um dos problemas ambientais que mais afetam os setores agrícolas, provocando prejuízos econômicos e ambientais. Dentre os processos responsáveis pela degradação, destaca-se a erosão hídrica, que é um tipo de erosão de origem natural, e que vem sendo intensificada pelo ser antrópico. A erosão hídrica traz prejuízos como a perda de nutrientes, matéria orgânica, reduzindo a fertilidade do solo; perda da biodiversidade, assoreamento de cursos d'água, entre outros, tornando as áreas ambientalmente e economicamente inviáveis para exploração.

Diversas características influenciam nos processos erosivos como: tipo de solo, clima, topografia do terreno, cobertura vegetal; esses fatores atuam conjuntamente apresentando ao solo maior ou menor erodibilidade (CREPANI et al., 2001). O relevo é um dos fatores de destaque nos processos erosivos, influenciando na quantidade de solo arrastado pelo escoamento superficial, logo quanto maior a declividade, maior a taxa de solo perdida. De acordo com Sanchez et al. (2009), a quantificação da erosão associada às formas de paisagem tem apresentado subsídios para a determinação de zonas específicas de manejo.

O manejo apresenta grande influência sob a qualidade do solo e de seus atributos, práticas que removem a cobertura do solo tornam-no mais susceptíveis aos processos de degradação (GUTH, 2010). As diferentes formas de uso do solo provocam alterações nas suas propriedades, tornando necessário conhecer as condições em que o mesmo se encontra. O solo apresenta variabilidade natural que pode ser intensificada pelas formas de manejo adotadas, portanto, conhecer, analisar e compreender essa heterogeneidade é indispensável para o desenvolvimento de técnicas capazes de auxiliar na gestão adequada das áreas (BERTOL, 2002).

Dentre os atributos do solo, os físicos são os que desempenham importantes funções, em especial a granulometria, pois ela apresenta propriedades que influencia na retenção de água no solo, permeabilidade, lixiviação de nitratos, formação de selo superficial, erodibilidade coesão e adesão, entre outras (RODRIGUES, 2010). O estudo da variabilidade das frações granulométricas é imprescindível no uso e controle de fertilizantes, no controle de processos de degradação, na produtividade, e também na redução dos impactos ambientais.

A maneira como os atributos físicos se comportam em determinado solo pode ser monitorado pela distribuição espacial dos atributos (NETO et al., 2015). O monitoramento dessas condições é a base para a obtenção da máxima eficiência da produção e de qualidade do solo. Atualmente, diversas técnicas vêm sendo utilizadas no estudo do comportamento dos atributos do solo, uma delas é a geoestatística (SOUZA, 2006).

A geoestatística, diferente da estatística clássica possibilita trabalhar a heterogeneidade da área, de maneira específica, fornecendo informações acerca da distribuição espacial dos atributos que podem contribuir para ajustes nas técnicas de manejo do solo e indicar alternativas de manejo que reduzam a variabilidade espacial e melhore as condições da área.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e sua relação com os impactos ambientais decorrentes da erosão hídrica na fazenda experimental da UFCG/CCTA.

2.2 Objetivos Específicos

- Análise laboratorial para determinação da densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, umidade, frações granulométricas e estabilidade de agregados;
- Análise da estatística descritiva dos atributos do solo;
- Caracterizar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo;
- Verificar in loco e classificar os pontos de erosão hídrica;
- Gerar mapas de pontos de controle da erosão;
- Relacionar atributos físicos do solo decorrentes da modelagem geoestatística com os pontos de erosão;
- Análise da influência do relevo nos processos erosivos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Uso e Ocupação do Solo no Semiárido

O Semiárido Brasileiro compreende uma área de 982.563,3 km², abrangendo a maior parte dos estados nordestinos (BRASIL, 2005), essa região apresenta características marcantes como altas temperaturas, baixo índice pluviométrico, resultando em um ambiente frágil com solos poucos intemperizados (MAIA, 2006).

A grande heterogeneidade de material de origem, relevo, clima, resulta em uma ampla diversidade de classes de solos no semiárido (JACOMINE, 1996). Os solos variam desde os mais evoluídos como os Latossolos e Argissolos, até aqueles que sofreram pouca pedogênese como Neossolos e Gleissolos nas áreas de baixada aluvial, ou Cambissolos, Planossolos, Vertissolos, Luvisolos, Plintossolos e Chernossolos em menor escala.

Os fatores de formação nessa região ocorrem, em geral, de forma lenta, em decorrência do clima que apresenta elevadas temperaturas e escassez hídrica, limitando a atuação do intemperismo químico. Nesse sentido, nas regiões semiáridas ocorre maior atuação do intemperismo físico em decorrência das condições climáticas, resultando em solos pouco desenvolvidos e pouco alterados quimicamente (OLIVEIRA, 2008).

As atividades desenvolvidas no semiárido são realizadas em uma perspectiva de superexploração (SANTOS et al., 2007), principalmente no que se refere ao desmatamento desordenado, queimadas, utilização de maquinários pesados, sem adoção de um manejo adequado (SAMPAIO; SALCEDO, 1997), resultando na degradação ambiental da área, e conseqüentemente a redução da produtividade e aumento dos custos para o produtor.

Práticas adotadas sem um correto planejamento amostral da área resultam em inúmeros impactos ambientais como erosão, desertificação, acidificação, entre outros, sendo a erosão considerada a forma mais prejudicial de degradação do solo, provocando, em alguns casos, danos irreparáveis ao ambiente (MOTA et al., 2008). Por esse motivo, fazem-se necessários estudos e uso de tecnologias que proporcionem informações para a realização de um manejo adequado da área, visando à conservação do solo.

A capacidade de uso do solo está intrinsecamente relacionada ao tipo de solo, cultura inserida do ambiente e o manejo adotado. Sua utilização deve ser realizada

de acordo com as condições favorecidas pelos elementos físicos da paisagem (CUNHA; PINTON, 2012). Pode-se dizer que a capacidade de uso do solo está relacionada ao quanto o solo suporta a intensidade do cultivo, sem interferir na sua produtividade por efeito da erosão (BERTONI; NETO, 2014).

Nesse sentido, o uso do solo deve ser realizado considerando suas limitações e potencialidades, sendo fundamental o estudo da sua capacidade para um planejamento de uso racional do solo. Visto que, diversas práticas são desenvolvidas sem conhecimento da capacidade do solo, provocando uso intenso do recurso e gerando consequências como redução da fertilidade do solo, perda de nutrientes, degradação, além dos impactos socioeconômicos e tecnológicos gerados (RAMPIM et al., 2012).

Nesse sentido, é essencial que as atividades agrícolas sejam realizadas adotando um princípio conservacionista, sem descuidar dos interesses financeiros dos produtores, visto a importância de manter as características físicas, químicas e biológicas após a implantação de atividades antrópicas (BERTOL et al., 2001).

3.2 Atributos Físicos do Solo

3.2.1 Textura do Solo

A textura do solo diz respeito às proporções de silte, areia e argila presentes no solo (MEURER, 2012). Bertoni e Neto (2014) afirmam que o solo sempre apresenta uma mistura das três frações granulométricas, onde nenhum solo é composto exclusivamente de apenas uma fração, e as porcentagens dessas diversas frações é que diferenciam os tipos de textura, existindo assim, 13 classes texturais.

O tipo do solo é uma das causas responsáveis pela susceptibilidade do solo à erosão. A textura e o tamanho de suas frações granulométricas são um dos fatores que exercem influência na quantidade de solo arrastado (DYONISIO, 2010).

Solos arenosos são, em geral, solos com baixo índice de agregação, que apresentam partículas de maiores diâmetros, apresentando alta taxa de infiltração, que podem apresentar maior ou menor resistência à erosão a depender das condições que se encontram (REINERT; REICHERT, 2006). Esses solos, quando manejados de forma incorreta, ou quando não apresentam cobertura vegetal, manifestam maior susceptibilidade à erosão, por suas partículas serem facilmente desagregadas, tanto pela chuva quanto pelo vento.

Os solos argilosos, por sua vez, apresentam características diferentes dos solos arenosos, pois são constituídos de partículas com menores diâmetros, resultando em um solo com maior porosidade, alta capacidade de retenção de água, e menor taxa de infiltração, provocando a saturação do solo em eventos de intensa precipitação, levando ao escoamento superficial (LIMA, 2003). Porém, devido a argila, as forças de coesão das partículas são maiores, apresentando maior resistência à desagregação pelos processos erosivos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

Nesse sentido, solos arenosos apresentam maior susceptibilidade à erosão em relação aos argilosos, apesar de diversos fatores atuarem conjuntamente com a textura tornando-os mais propensos ou não à degradação, como manejo do solo, uso e ocupação e condições ambientais da área.

Apesar de diversas atividades antrópicas exercerem influência sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, a textura é o atributo que menos sofre alterações nas suas propriedades ao longo do tempo (ÁVILA, 2009). Os maiores danos a esse atributo ocorrem principalmente em decorrência da erosão, que desagrega, transporta e sedimenta as partículas em diversas áreas, provocando variabilidade da textura.

3.2.2 Estrutura do Solo

As condições ambientais vão sendo alteradas na medida em que ações antrópicas modificam a paisagem natural (CENTURION et al., 2001), atividades que fazem uso do solo como agricultura e pecuária, provocam alteração nos atributos, podendo ser permanentes ou temporárias (PANACHUKI, 2003). Dentre os atributos mais afetados pelo uso e manejo inadequado destaca-se a estrutura, densidade e porosidade do solo.

A estrutura do solo pode ser definida como a união das partículas de silte, areia e argila (RESENDE et al., 1995). Os diversos tipos de agregados estruturais são favorecidos pela organização das partículas, juntamente com o ambiente de formação, que por sua vez resulta em diversos tipos de estruturas: granular, laminar, prismática e colunar, blocos angulares e sub angulares.

Os processos físicos, químicos e biológicos do solo contribuem no processo de formação e estabilização de agregados (LIMA et al., 2003), no qual sua formação

se dá por meio de duas etapas: aproximação das partículas e estabilização dos agregados (BOCHNER et al., 2008).

Na primeira etapa ocorre a aproximação das partículas em detrimento ao conteúdo de água, ocorrendo o processo de umedecimento e secagem, devido à influência das raízes, fungos, hifas, bactérias, organismos (BOCHNER et al., 2008), que exercem pressão nas partículas, promovendo aproximação das mesmas, determinando assim, uma maior ou menor agregação (FILHO et al., 1998). Na segunda fase é realizada a estabilização dos agregados, na qual irá ocorrer a consolidação da união das partículas por meio de um agente cimentante (HILLEL et al., 1980). Alguns agentes cimentantes que podem atuar nesse processo são: argila, ferro, alumínio, matéria orgânica (VICENTE et al., 2012).

A estabilidade de agregados depende diretamente do grau de agregação do solo, refletindo em uma maior ou menor resistência do solo à erosão (BAGATINI, 2011). Alguns agregados apresentam maior facilidade em serem destruídos em decorrência de fatores como manejo do solo, impacto das gotas de chuva, preparo do solo, textura, enquanto outros apresentam maior resistência à fragmentação, favorecendo a manutenção da estrutura do solo (PAGLIARINI et al., 2012).

A estruturação do solo é um dos fatores que indica as condições físicas em que as culturas estão sujeitas (BLAINSKI et al., 2008), que por sua vez determina a disponibilidade de água no solo, aeração, facilidade ou resistência das raízes à penetração no solo. Solos bem estruturados, que apresentem boa aeração, infiltração, crescimento radicular das plantas, densidade e porosidade favoráveis (ANDREOLA et al., 2000), contribuem para que o solo resista aos processos erosivos. Em contrapartida, solos pouco estruturados, associados ao tipo de uso e manejo influenciam sobre a estabilidade de agregados (OLIVEIRA et al., 2012), facilitando o desprendimento do solo pela ação da água.

3.2.3 Porosidade do Solo

O volume de vazios do solo, onde não é ocupado por componentes orgânicos e inorgânicos, mas sim pela água e ar, pode ser definido como espaço poroso (SANTANA, 2009). Para um adequado desenvolvimento das culturas, o solo deve apresentar condições favoráveis de volume e espaço poroso, para que a retenção de água e ar seja suficiente (HILLEL, 1980).

A classificação da porosidade do solo é estabelecida de acordo com o tamanho dos poros em: microporos e macroporos. Os microporos estão relacionados aos poros capazes de reter e armazenar água no solo, enquanto que os macroporos são aqueles responsáveis pela drenagem e troca de gases no solo (PAULINO, 2013).

A textura e estrutura são atributos que manifestam influência na porosidade do solo. Solos argilosos são constituídos de um maior número de microporos, possibilitando a retenção de água no solo, enquanto que os solos arenosos apresentam maior quantidade de macroporos, o que permite uma maior infiltração da água e menor retenção, e a depender das concentrações de matéria orgânica e da atividade biológica, possibilitará o desenvolvimento adequado do sistema radicular das culturas (TORRES; SARAVA, 1999).

O manejo adotado influencia na alteração da porosidade do solo. O preparo do solo apresenta um conjunto de atividades que causam mudanças nesse atributo, como é o caso da escarificação, que provoca aumento da rugosidade na superfície do solo (REICHERT et al., 2009). O aumento da rugosidade do solo provoca o aumento da macroporosidade. A rugosidade resulta em depressões na superfície do solo, que por sua vez, favorece a redução das perdas de solo por erosão, devido à redução da velocidade do escoamento superficial e aumento da infiltração de água no solo (RAMOS et al., 2014).

3.2.4 Densidade do Solo e Densidade de Partículas

A densidade de partículas é um atributo físico que consiste na relação entre a massa e volume ocupado por suas partículas, desprezando a porosidade do solo (SCHERPINSKI, 2005). Desta forma, a densidade de partículas apresenta-se como um atributo pouco variável por práticas de manejo, sendo bastante influenciada pela composição mineralógica do solo e matéria orgânica.

Em geral, apresenta valores próximos a $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$, isto porque os principais minerais constituintes do solo (quartzo, mica e feldspato) manifestam, em média, esse valor de densidade. A matéria orgânica é um dos principais componentes que altera a densidade de partículas por apresentar menor massa que os minerais, ela possui valores de densidade variando entre 1,3 a $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$, estabelecendo uma relação inversamente proporcional entre matéria orgânica e densidade, onde quanto maior a concentração de matéria orgânica, menor será a densidade de partículas.

A densidade do solo consiste na relação entre a massa e o volume ocupado do solo, considerando sua constituição mineralógica e seu volume poroso (PERUSI, 2005). Esse atributo varia de acordo com as práticas de manejo adotadas, onde atividades como agricultura e pecuária aumentam o valor desse parâmetro, devido à redução do espaço poroso pela compactação.

A densidade do solo e de partículas são parâmetros que influenciam na maior ou menor erodibilidade dos solos (FILHO et al., 2001). A densidade do solo está relacionada ao controle da erosão, quanto maior for a densidade, menor será o espaço poroso e, conseqüentemente, menores taxas de infiltração e maior escoamento superficial; enquanto que quanto maior for a densidade de partículas, maior será a resistência do solo à erosão, em detrimento dos minerais pesados presentes no solo (GUERRA; BOTELHO, 1996).

3.3 Variabilidade Espacial dos Atributos Físicos do Solo

Os solos apresentam heterogeneidade natural que podem ser explicadas pela gênese do solo, e também por causas adicionais como o manejo adotado. De acordo com Santos et al. (2012), essa variabilidade influencia nas condições do ambiente, resultando em impactos ambientais que podem comprometer a água, ar, solo, como assoreamento de corpos hídricos, erosão, compactação, desenvolvimento irregular das culturas.

Os atributos físicos destacam-se como indicadores da qualidade ambiental, sendo bastante utilizados para estimar áreas degradadas (REYNOLDS et al., 2008), essa quantificação pode ser realizada por meio de análises e uso de ferramentas que fornecem informações que permitem o estudo do comportamento dos atributos, permitindo trabalhar a área especificamente, e aperfeiçoar o seu tratamento (SILVA NETO et al., 2011).

As diferentes formas de preparo do solo e sua intensidade provocam alterações nos atributos do solo, como redução da porosidade, aumento da densidade do solo, redução das taxas de infiltração, provocando aumento da susceptibilidade dos solos à erosão (SOUZA et al., 2004).

O estudo da variabilidade espacial do solo atingiu maiores proporções em decorrência das áreas agrícolas serem tratadas homogêneas, resultando em prejuízos ambientais e financeiros para o agricultor, visto que, cada área apresenta especificidades que influenciam na produtividade de uma cultura (JOHANN et al.,

2004). Nesse sentido, a geoestatística é uma ferramenta que vem sendo bastante utilizada nos estudos da variabilidade espacial dos atributos físicos, pois esta permite que a área seja trabalhada de forma específica, fornecendo informações que permitem indicar alternativas de manejo na área, maximizando e otimizando o sistema agrícola, e de acordo com (TRANGMAR et al., 1985) reduzindo o efeito da variabilidade.

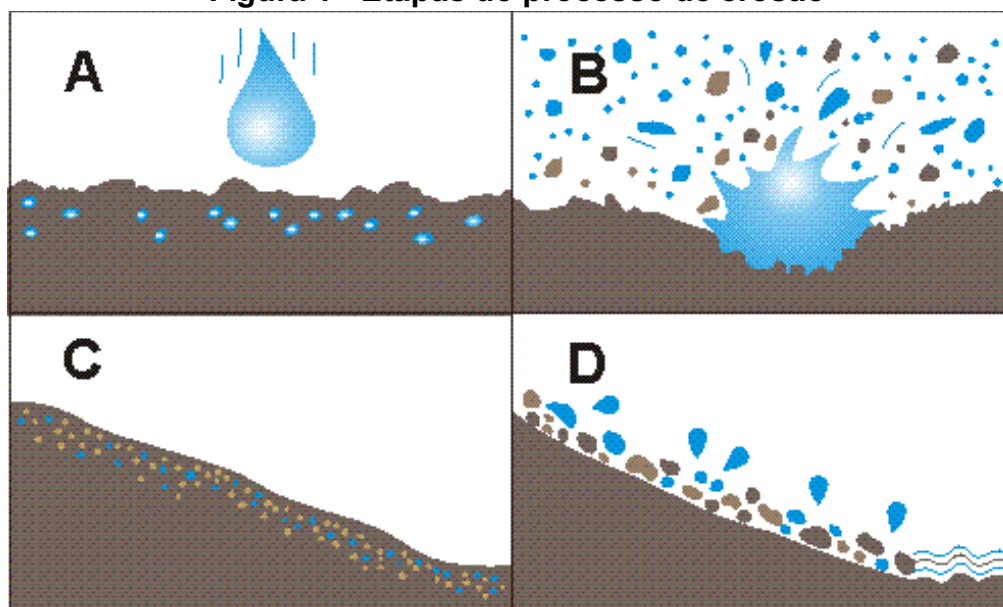
3.4 Erosão do Solo

A erosão é o processo de perda de solo e de seus constituintes, que ocorre por meio de agentes naturais, principalmente chuva e vento. Esse processo costuma ocorrer na camada superficial do solo, retirando as partes mais férteis do horizonte, na qual contém nutrientes, matéria orgânica e componentes necessários para o desenvolvimento das culturas (NASCIMENTO, 2009).

A erosão pode ser dividida em dois tipos: erosão natural e erosão acelerada. A erosão natural é um fenômeno geológico que ocorre desde a existência do material rochoso na atmosfera (AHMED, 2009), sucedendo de forma lenta e modelando paisagens; enquanto que a erosão acelerada é intensificada pelo ser antrópico, por meio da ocupação inadequada do solo decorrente de diversas atividades como agricultura, pecuária, causando, muitas vezes, danos irreparáveis ao solo.

Esse processo ocorre em três etapas: desagregação, arraste e deposição dos constituintes do solo (Figura 1). A primeira fase é a desagregação, nessa etapa ocorre o desprendimento das partículas do solo por meio da ação das gotas de chuva que golpeiam o solo (Figura 1A e 2A), havendo o selamento do solo, o que impede a infiltração da água (Figura 2C). Em seguida, as partículas são transportadas por meio do escoamento superficial da água ou pelo vento (Figura 2D), na última etapa o solo desagregado e transportado será depositado nas partes mais baixas do terreno (BAGATINI, 2011).

Figura 1 - Etapas do processo de erosão



Fonte: Derpsch et al., (1991)

A erosão hídrica é classificada em três principais tipos: laminar ou superficial, sulcos e voçorocas. A erosão laminar é o primeiro estágio da erosão, sendo um dos tipos mais importantes, porém, menos notado (TOMAZONI; GUIMARÃES, 2005), no qual ocorre a remoção de uma fina camada de solo superficial (GOMIDE, 2009) e perda de nutrientes e matéria orgânica. Esse tipo de erosão atinge grandes áreas, podendo ser identificadas por meio do aparecimento do material rochoso ou de raízes das culturas.

Quando a erosão laminar não é controlada, resulta em sulcos. Os sulcos ocorrem de forma concentrada, formando canais pequenos, a partir do escoamento superficial nas depressões da superfície do terreno (BEZERRA et al., 2010), podendo, na maioria dos casos serem desmanchados com operações de preparo do solo (SPAROVEK et al., 1999).

As voçorocas são o estágio final da erosão, resultante dos processos erosivos acelerados (GUERRA, 2005), classificadas como o estágio avançado dos sulcos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014). De acordo com Guerra (1995), elas manifestam características relativamente permanentes nas encostas, apresentando paredes laterais com declividade acentuada, fundo achatado, onde percorre fluxo de água durante os eventos chuvosos. Essa é a forma de erosão que causa maiores prejuízos em termos de perda de área, sendo, na maioria das vezes, inviável sua recuperação em detrimento dos altos custos desse processo.

A erosão ocorre em virtude de diversos fatores que atuam nesse processo, como clima, tipo de solo, topografia do terreno, cobertura vegetal, manejo adotado. A influência do clima pode ser explicada principalmente pela precipitação (FARIA et al., 2003). Na precipitação deve ser considerada a intensidade, duração e frequência; sendo a intensidade o fator mais importante. As chuvas torrenciais, que apresentam grandes intensidades, ocasionam maiores perdas de solos.

Um dos fatores mais importantes no controle do processo erosivo é a cobertura vegetal, ela abrandando o impacto das gotas de chuva no solo, dissipando a energia cinética das gotas, reduzindo o desprendimento das partículas e a velocidade do escoamento superficial, aumentando, assim, as taxas de infiltração de água no solo (COGO et al., 2003). Em virtude disso, áreas em que a cobertura vegetal é eliminada apresenta grande erodibilidade, afetando a densidade do solo, capacidade de infiltração e retenção de água, além da perda de solo e seus constituintes.

Franzmeier (1990) destaca a topografia do terreno como sendo o principal responsável pela erosão do solo, pois, quando se apresenta de forma acentuada, aumenta a velocidade de arraste do solo, e conseqüentemente, maior poder erosivo. O estudo das formas de relevo que implicam no arraste do solo são importantes para a compreensão e quantificação da perda do solo (SOUZA et al., 2003). A capacidade do solo em ser erodido dependerá também da natureza do solo e de suas características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas (LIMA, 2003). A textura é um fator importante nesse processo, na qual exerce influência no material desprendido e transportado pelo escoamento (TUNDISI, 2001).

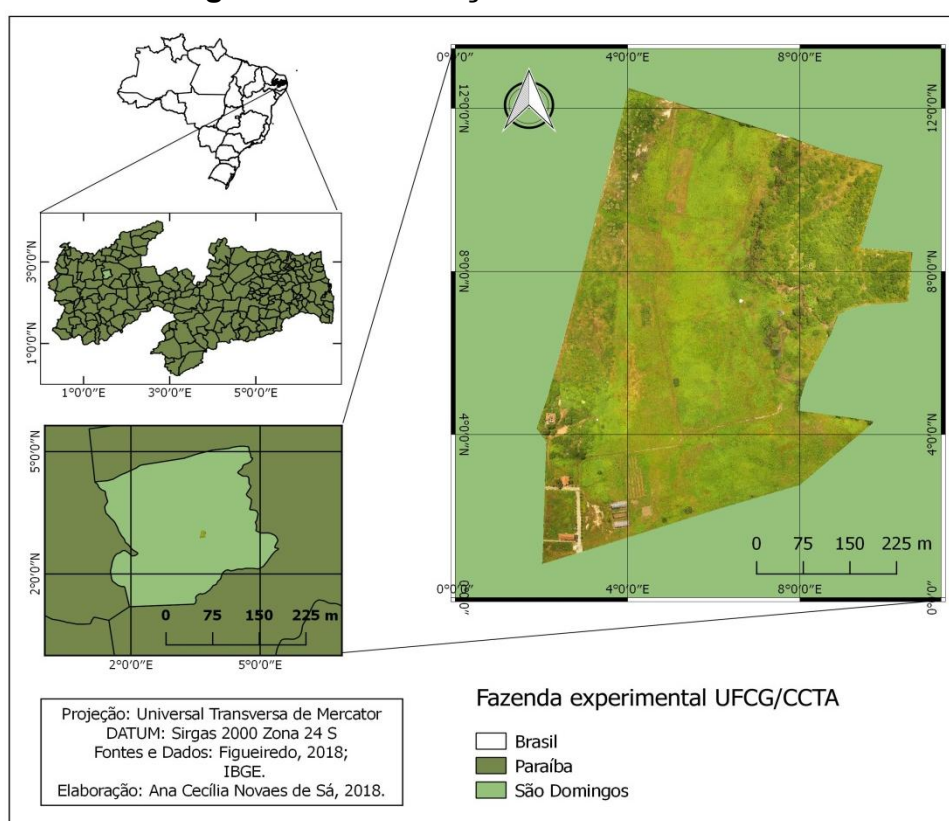
O manejo do solo assume uma importante função em relação à resistividade a erosão, que, quando adotado de forma inadequada, estimula a aceleração do processo erosivo, causando perdas de solo e água, reduzindo a capacidade produtiva do solo, provocando prejuízos econômicos e ambientais para o agricultor (VOLK, 2006). Logo, manter a qualidade do solo por meio de um manejo adequado e práticas conservacionistas é primordial para minimizar os impactos gerados pela erosão.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A Fazenda Experimental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande está localizada no município de São Domingos – Paraíba (Figura 2), situada na mesorregião do Sertão Paraibano e microrregião de Sousa – PB. O município compreende uma área de 169,103 km², com latitude de 06° 48' 50" S e longitude de 37° 56' 31" O, apresentando altitude de 190 metros acima do nível do mar.

Figura 2 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborada pela autora, com dados extraídos de Figueiredo (2018).

O clima, segundo classificação de Köppen-Geiger, é do tipo tropical semiárido (Bsh), sendo caracterizado por baixos e irregulares índices pluviométricos e altas temperaturas, favorecendo as elevadas taxas de evaporação. As épocas de chuvas acontecem entre os meses de novembro a abril, ocorrendo, na maioria das vezes, de forma irregular. As médias anuais de precipitação pluviométrica são de 872 mm e temperatura média anual é superior a 26,7° C. O relevo da região varia de ondulado a suave ondulado, com vegetação característica caatinga hiperxerófila. Os solos estudados foram classificados em Neossolo Flúvico e Vertissolo.

4.2 Metodologia

4.2.1 Amostragem do Solo

Foram delimitadas duas malhas de amostragem em duas áreas, uma em Neossolo e outra em Vertissolo. Para cada área foram montados grids de coleta, com 80 pontos amostrados e espaçamento de 15 metros entre os pontos (Figura 3). As amostras foram georreferenciadas e coletadas a uma profundidade de 0 – 15 cm com trado tipo castelinho e, posteriormente, levadas ao laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande para a realização das análises dos atributos físicos do solo.

Figura 3 - Grid dos pontos de coleta do Neossolo e Vertissolo



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

4.2.2 Análises dos Atributos Físicos

Os atributos físicos analisados foram: frações granulométricas, estabilidade de agregados, densidade do solo, densidade de partículas, umidade e porosidade total do solo.

A análise das frações granulométricas foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017), onde a determinação dos teores de argila total (AT), areia muito grossa (AMG), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF) e silte (ST) foram realizadas a partir de

amostras deformadas, fazendo uso do método da pipeta para a separação de argila, sendo indispensável a utilização de NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico e realização da agitação de 15min com aparato de baixa rotação.

O mesmo processo será repetido em todas as amostras sendo que, o NaOH 0,1 mol L⁻¹ será substituído por água deionizada, com objetivo de se obter valores de argila (ADA), areia (ARDA) e silte (SDA) dispersos em água. Os valores de argila total (AT) e argila dispersa em água (ADA) serão utilizados para determinação do índice de floculação (IF) (Equação 1), de acordo com Teixeira et al. (2017).

$$IF = [(AT - ADA)/AT] \times 100 \quad (1)$$

A estabilidade de agregados via úmida foi determinada utilizando 25g de solo que foi pré-umedecida por ascensão capilar, sendo mantidas em repouso por 10 minutos. Em seguida, foram submetidos ao tamisamento úmido em aparelho de agitação vertical Yoder por 15 min, em um conjunto de peneiras nas classes de diâmetros: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm (KEMPER E CHEPIL, 1965). O material retido em cada peneira foi colocado em estufa a 105°C, por um período de 24h para posterior pesagem. A partir dos valores das massas de cada amostra foi possível calcular o DMP (diâmetro médio ponderado) e DMG (diâmetro médio geométrico) por meio das Equações 2 e 3, respectivamente.

$$DMP = \sum (C_i P_i) \quad (2)$$

Sendo:

C_i = centro da classe textural i, expresso em mm;

P_i = proporção de ocorrência da classe textural i, expressa em %.

$$DMG = \prod_{i=1}^n D_i^{\frac{m_i}{m}} = e^{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} \cdot \ln(D_i)} \quad (3)$$

As análises da densidade de partículas (D_p), densidade do solo (D_s), umidade (U) e porosidade total (PT) foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). A densidade de partículas foi determinada por meio do volume de álcool utilizado para completar a capacidade do balão volumétrico. A amostra de solo foi levada à estufa a 105° C com o intuito de se obter a amostra seca, essa amostra foi transferida para o balão volumétrico de 50 mL, no

qual foi adicionado álcool, sendo agitado para eliminar as bolhas de ar que se forma, o procedimento foi realizado até a ausência de bolhas, por fim, anotou-se o volume de álcool gasto e calculou a densidade de partículas (Equação 4).

$$D_p = \left(\frac{A}{50 - B} \right) \quad (4)$$

Em que:

D_p = densidade de partículas (kg/m^3)

A = massa da amostra seca a 105°C (kg)

B = volume de álcool gasto (m^3)

A determinação da densidade do solo foi realizada por meio do método do anel volumétrico, que tem como princípio coletar a amostra em um anel de aço, no qual o volume do cilindro que contém o solo deve ser anotado, em seguida, o peso do conjunto deve ser pesado e a massa anotada. O conjunto foi à estufa a 105°C durante 24 e 48h, e subsequente, foi pesado. O cálculo da densidade do solo foi realizado por meio da Equação 5:

$$D_s = \frac{A}{B} \quad (5)$$

D_s = densidade do solo (kg/m^3)

A = massa da amostra seca a 105°C (kg)

B = volume do anel ou cilindro (m^3)

Para a análise da umidade do solo as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor para que não perdessem a umidade. A amostra foi pesada e colocada na estufa a 105°C durante 24h para retirar a umidade, após esse período, a amostra foi retirada, colocada em dessecador e pesada. A diferença entre os pesos da amostra úmida e seca, dividida pelo peso da massa da amostra seca estabelece a umidade do solo (Equação 6).

$$U_g = \left(\frac{A-B}{B} \right) \times 100 \quad (6)$$

U_g = umidade gravimétrica (%)

A = massa da amostra úmida (kg)

B = massa da amostra seca (kg)

A porosidade total foi determinada pelo método indireto, na qual é realizada por meio da diferença da densidade de partículas e densidade do solo, dividido sobre a densidade de partículas (Equação 7).

$$PT = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100 \quad (7)$$

PT = porosidade total (%)

A = densidade de partículas (kg/m³)

B = densidade do solo (kg/m³)

4.2.3 Estatística Descritiva

Após as análises dos atributos físicos, os dados foram submetidos à estatística descritiva. Esse tipo de análise permite verificar média, mediana, mínimo, máximo, coeficiente de variação, assimetria e curtose dos atributos estudados, com o objetivo de obter informações para identificar tendência, dispersão e a forma como os dados são distribuídos (BOURGAULT et al.1997). Para verificar a normalidade dos dados é aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de probabilidade. O Coeficiente de variação é um parâmetro que foi classificado de acordo com o critério de Warrick e Nielsen (1980) em que o CV < 12% é definido como baixo, 12% a 60% médio e acima de 60% considerado alto.

4.2.4 Análise Geoestatística

Após a realização da estatística descritiva dos dados, foi realizada a análise geoestatística dos atributos físicos, com o objetivo de gerar mapas de krigagem que apresentam a distribuição espacial dos atributos analisados, esses mapas foram utilizados para verificar o comportamento dos atributos e suas relações com os processos erosivos. Para análise geoestatística foram utilizados os *softwares* Surfer versão 11 (SURFER FOR WINDOWS, 1999) e GS+ versão 9 (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2008).

A modelagem do semivariograma experimental seguiu os princípios estabelecidos pela hipótese intrínseca (ISAAKS E SRIVASTAVA, 1989) para identificar a variabilidade espacial dos atributos do solo. Para determinar o semivariograma experimental foi calculada a variância em razão da distância de separação entre amostras por meio da Equação 8:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (8)$$

em que: $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância experimental para uma distância de separação h , $z(x_i)$ é o valor da propriedade no ponto i , e $N(h)$ é o número de pares de pontos separados pela distância h .

Conforme o ajuste do modelo matemático, com os valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ foram definidos os parâmetros do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$ e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance compreende a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas.

A escolha dos modelos teóricos dos semivariogramas e o ajuste dos seus parâmetros foram definidas observando o melhor coeficiente de correlação obtido pela técnica de validação cruzada e o maior coeficiente de determinação (R^2), sendo os valores de R^2 mais próximos de 1 aqueles que caracterizam o modelo mais eficiente para expressar o fenômeno estudado. A classificação do grau de dependência espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar ($C_0/C_0 + C_1$), sendo considerada fraca para $GDE > 75\%$, moderada para GDE entre 25% e 75% e forte para $GDE < 25\%$ (CAMBARDELLA et al., 1994).

Após a modelagem dos semivariogramas, foi utilizada a técnica krigagem ordinária (KO) para a interpolação de valores em locais não mostrados. Essa técnica é baseada em uma média móvel ponderada das amostras vizinhas, obtida pela Equação 9.

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i), \text{ com } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (9)$$

em que $\hat{z}(x_0)$ é o valor estimado no ponto 0; N é o número de valores utilizados na estimação; λ é o peso associado a cada valor observado, e $z(x_i)$ é o valor observado no ponto i . Os pesos (λ_i) de cada vizinho são determinados utilizando o modelo de

semivariograma ajustado, resultando em uma estimativa de variância mínima (SOARES, 2006).

4.2.5 Avaliação dos Pontos de Erosão Hídrica

A análise dos pontos de erosão foi realizada in loco de forma qualitativa e quantitativa. O mapeamento dos pontos foi executado com o auxílio do aparelho GPS, e a caracterização de cada feição de erosão foi realizada considerando comprimento, largura e profundidade, a fim de identificar o tipo de erosão (laminar, sulco ou voçoroca), e a classe da mesma.

As classes de erosão foram avaliadas de acordo com a metodologia descrita por Santos et al. (2013) na qual classifica a erosão em 6 graus: não aparente, ligeira, moderada, forte, muito forte e extremamente forte (Quadro 1).

Quadro 1 - Classes de erosão e suas respectivas descrições

Classe da erosão	Descrição
Não aparente	Não apresenta sinais perceptíveis de erosão laminar ou em sulcos
Ligeira	Remoção de menos de 25% do horizonte A ou dos primeiros 20 cm do solo
Moderada	Perda de 25% a 75% do horizonte A
Forte	> 75% do horizonte A removido
Muito forte	Horizonte A ou A + E completamente removido. Horizonte B, exposto, também bastante removido por frequentes sulcos profundos e/ou voçorocas.
Extremamente forte	Horizontes A e B completamente removidos, e horizonte C apresenta ocorrência frequente de sulcos muito profundos, ou voçorocas.

Fonte: Elaborado pela autora, com informações obtidas de Santos et al. (2013).

A partir da caracterização das erosões, foram elaborados mapas de identificação das mesmas, mapas de declividade e índice Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness (MRVBF) utilizando o *software* QGIS, por meio do modelo digital de elevação (MDE) gerado a partir de ortoimagens elaboradas por Figueiredo

(2018). O MDE é definido de acordo com Hofig e Araujo Junior (2015) como um plano de informações que descreve a altitude, ponto a ponto, de uma determinada área. Posteriormente, foi realizada a interpretação dos resultados levando em consideração a influência da variabilidade espacial dos atributos na susceptibilidade dos solos à erosão.

A declividade do terreno é uma variável que permite demonstrar a distribuição das inclinações no terreno. Nesse sentido, as imagens SRTM foram importadas no *software* QGIS, projetadas para o sistema de coordenadas Sirgas 2000 zona 24S; com a ferramenta *slope* foi calculada a declividade. As classes de declividade do terreno foram definidas de acordo com a classificação proposta pela Embrapa (1979), conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição das classes de declividade

Declividade (%)	Relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave-ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte ondulado
45 – 75	Montanhoso
>75	Forte-montanhoso

Fonte: Embrapa, 1979.

O MRVBF é um índice que está relacionado à identificação de áreas de erosão e sedimentação. Mackenzie e Gallant (2007) estabelecem valores para esses índices, onde valores menores que 0,5 são consideradas superfície de erosão, e valores superiores a 0,5 são ditas como superfície de deposição.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estatística Descritiva e Análise Geoestatística dos Dados

Os resultados referentes à estatística descritiva da textura do solo, diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds) e porosidade total (PT) do Neossolo e Vertissolo, na profundidade de 0 – 20 cm encontram-se na Tabela 2 e 3, respectivamente.

O teste de Kolmogorov-Smirnov indicou normalidade apenas para os dados de silte no Neossolo, e DMG em ambos os solos. Embora a normalidade dos dados não seja uma exigência para a aplicação de técnicas geoestatísticas, pois em dados obtidos da natureza a distribuição normal é apenas aproximada, o importante é que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (LIMA et al, 2015).

O coeficiente de assimetria (Ass.) e curtose indica se os dados apresentam ou não distribuição normal. Nesse sentido, as variáveis de textura do Vertissolo apresentaram valores altos de assimetria ($|Ass.| > 1$), e valores baixos para o Neossolo ($0,15 < |Ass.| < 1$). A densidade de partículas, densidade do solo, porosidade e DMG apresentaram valores moderados ($0,15 < |Ass.| < 1$) em ambos os solos, e apenas a umidade e DMP manifestaram altos valores de assimetria. Observa-se que os valores de média e mediana para todos os atributos nos dois solos estão próximos, evidenciando que a distribuição tende a ser simétrica e que os dados apresentam baixa variação.

Farias (2008) define o coeficiente de variação (CV) como um parâmetro que permite avaliar a variabilidade da área, que será identificada de acordo com o valor do parâmetro, quanto menor o CV, maior a homogeneidade dos dados. De acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), a variabilidade da área pode ser baixa ($CV < 12\%$), média ($12\% \leq CV \leq 60\%$) ou alta ($CV > 60\%$). Nesse sentido, os menores coeficientes de variação foram verificados para o DMP no Vertissolo, e para Dp, Ds, PT, nas duas áreas. Os baixos valores de CV para esses atributos estão de acordo com os encontrados por Santos et al. (2012) ao estudar um Neossolo Flúvico. Nota-se que também que o DMG, areia total, silte e argila, em ambos os solos e DMP no Neossolo apresentaram média variação com CV variando

de 14% a 50 %. Ao analisarem um Neossolo, Neto et al. (2015) encontrou CV para DMG que corroboram com esse estudo. A umidade foi um atributo de destaque nessa análise, visto que foi a única variável a apresentar elevados valores de CV, no Neossolo o coeficiente foi de 169.65% e 125.64% no Vertissolo, indicando alta variabilidade em ambas as áreas.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos atributos físicos do Neossolo.

Atributo	N	Média	Mediana	CV	Mín.	Máx.	Ass.	Curt.	P-Value
Neossolo									
Areia Total	80	667,4	674,0	23,9	338	942	-0,36	-0,84	<0,005
Silte*	80	230,6	238,0	50,5	20	575	0,38	-0,30	0,049
Argila	80	103,7	96,5	47,9	34	219	0,76	-0,41	<0,005
DMG*	80	2,77	2,80	39,00	0,56	4,74	-0,15	-0,90	0,096
DMP	80	3,89	4,41	21,24	1,03	4,81	-1,44	2,24	<0,005
Dp	80	2,64	2,64	2,69	2,34	2,81	-0,38	3,54	>0,150
Ds	80	1,34	1,35	10,73	0,95	1,58	-0,48	-0,33	>0,150
PT (%)	80	49,37	48,86	10,85	39,62	62,71	0,46	-0,38	>0,150
U (%)	80	1,75	0,83	169,65	0,03	16,94	3,56	12,76	<0,010

Dp= Densidade de partículas; Ds= Densidade do solo; PT= Porosidade total; U= umidade; CV= Coeficiente de variação (%); Mín= Mínimo; Máx= Máximo; Ass.= Coeficiente de assimetria; Curt.= Coeficiente de curtose; P-value para o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnova nível de 5% de significância; (*) Variável com distribuição normal. Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Tabela 3 - Estatística descritiva dos atributos físicos do Vertissolo.

Atributo	N	Média	Mediana	CV	Mín.	Máx.	Ass.	Curt.	P-Value
Vertissolo									
Areia Total	80	690,1	721,5	14,97	362	824	-1,63	2,33	<0,005
Silte	80	219,5	201,5	30,25	130	417	1,31	1,39	<0,005
Argila	80	84,9	76,6	44,07	44	223	1,26	1,83	<0,005
DMG*	80	3,47	3,55	23,29	1,51	4,74	-0,50	-0,68	0,007
DMP	80	4,42	4,49	8,61	3,10	4,94	-1,20	1,14	<0,005
Dp	80	2,6	2,62	2,45	2,46	2,69	-0,47	-0,79	0,023
Ds	80	1,38	1,4	7,9	1,07	1,63	-0,33	0,52	>0,150
PT (%)	80	46,8	46,18	9,57	36,33	57	0,16	0,06	>0,150
U (%)	80	0,7	0,51	125,64	0,05	6,92	4,97	32,91	<0,010

Dp= Densidade de partículas; Ds= Densidade do solo; PT= Porosidade total; U= umidade; CV= Coeficiente de variação (%); Mín= Mínimo; Máx= Máximo; Ass.= Coeficiente de assimetria; Curt.= Coeficiente de curtose; P-value para o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnova nível de 5% de significância; (*) Variável com distribuição normal. Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Após a análise da estatística descritiva, os semivariogramas experimentais foram construídos e ajustados (Tabela 4 e 5). Em geral, os atributos ajustaram-se ao modelo esférico, com exceção da densidade de partículas e umidade no Neossolo que melhor se adequaram ao modelo exponencial. O modelo esférico é considerado por Cambardella et al. (1994) como o mais utilizado para caracterizar o comportamento dos atributos do solo.

O alcance representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados espacialmente entre si. Os valores de alcance encontrados variaram de 20,93 a 123,6 m, apontando a ocorrência de variabilidade distinta nas áreas. Para as variáveis da textura, esses valores foram próximos em ambas às áreas, indicando que os dois solos apresentam variabilidade semelhante. O atributo que apresentou maior alcance foi a porosidade total no Neossolo, evidenciando menor variabilidade nesse atributo, pois sua ocorrência se dá em uma área de menor raio.

O grau de dependência espacial (GDE) indica o quanto uma amostra influencia na outra. De acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994) para o GDE, foi possível verificar que apenas a densidade de partículas no Neossolo, areia total, silte, argila e porosidade total no Vertissolo apresentaram forte dependência espacial ($GDE < 25\%$), os demais atributos, nas duas áreas, manifestaram moderado GDE ($25\% < GDE < 75\%$).

Tabela 4 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os atributos em um Neossolo.

Atributo	Modelo	C_0	C_0+C_1	Alcance	GDE (%)	R^2
Neossolo						
Areia Total	Esf	8239,70	27650	77,77	29,80	0,99
Silte	Esf	5020,00	13970	70,80	35,94	0,97
Argila	Esf	790,26	2363	67,90	33,44	0,89
DMG	Esf	0,48	1,64	43,00	33,27	0,918
DMP	Esf	0,26	0,67	43,82	38,48	0,918
Dp	Exp	0	0	20,93	8,27	0,786
Ds	Esf	0,01	0,02	96,6	28,98	0,845
PT	Esf	16,1	32,21	123,6	49,98	0,754
U	Exp	0,33	0,89	69,43	36,36	0,922

Esf = Esférico; Exp = Exponencial C_0 = Efeito pepita; C_0+C_1 = Patamar; GDE= Grau de Dependência Espacial ($C_0/(C_0+C_1)*100$); R^2 = Coeficiente de Determinação. Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Tabela 5 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os atributos em um Vertissolo.

Atributo	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	Alcance	GDE (%)	R ²
Vertissolo						
Areia Total	Esf	160,13	9232	77,30	1,73	0,98
Silte	Esf	432,52	3914	70,42	11,05	0,97
Argila	Esf	74,33	1233	78,90	6,02	0,95
DMG	Esf	0,30	0,64	31,41	48,02	0,82
DMP	Esf	0,07	0,14	28,96	55,12	0,73
Dp	Esf	0,00	0,00	69,20	42,73	0,940
Ds	Esf	0,01	0,01	84,50	48,13	0,905
PT	Esf	4,01	16,79	33,50	23,87	0,877
U	Esf	0,18	0,58	79,16	31,29	0,969

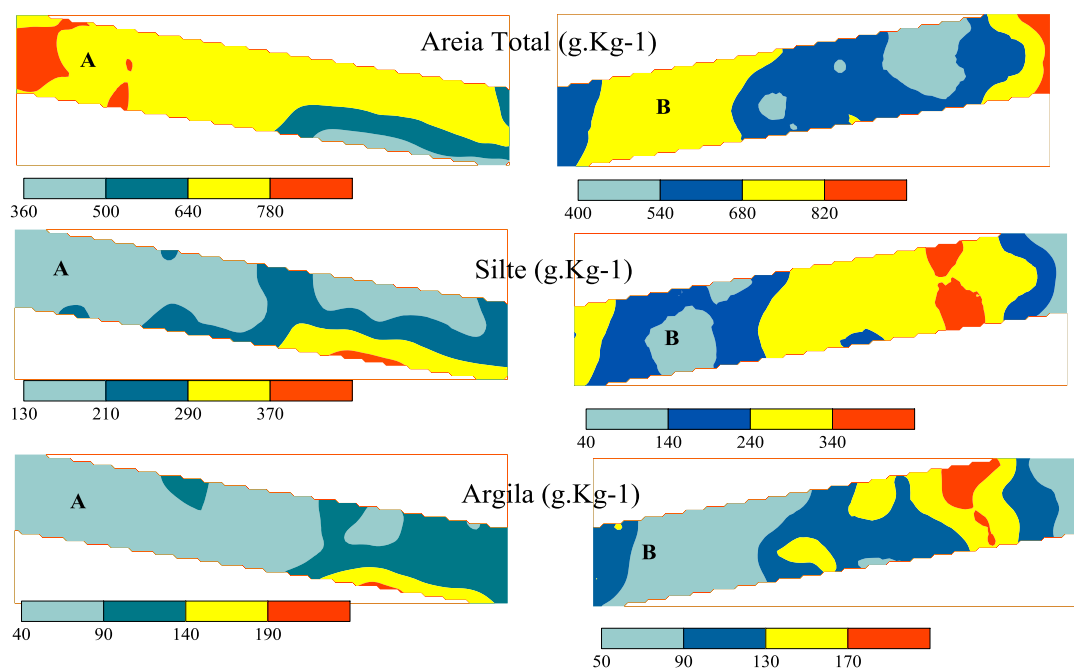
Esf = Esférico; C₀= Efeito pepita; C₀+C₁= Patamar; GDE= Grau de Dependência Espacial (C₀/(C₀+C₁)*100; R²= Coeficiente de Determinação. Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

A espacialização dos atributos areia total, silte e argila no Vertissolo e Neossolo, na profundidade de 0 – 20 cm pode ser observado na Figura 4. Verifica-se que ambos os solos apresentam teores de areia, silte e argila próximos, evidenciando variabilidades semelhantes. Porém, o Neossolo apresenta maiores concentrações de areia por ser um solo no início de sua formação em que há baixa intensidade de atuação do intemperismo em decorrência das condições climática.

Constata-se também que o Vertissolo apresentou elevados níveis de areia, que pode ser explicado pela coleta ter sido realizada em uma profundidade superficial do terreno, de 0 – 20 cm. Em contrapartida, as maiores concentrações de silte e argila encontram-se no Vertissolo, por se tratar de um solo com maior intemperização, em relação ao Neossolo.

Neossolos são solos bastante susceptíveis aos processos erosivos, principalmente porque apresentam elevadas concentrações de areia, facilitando a desagregação das partículas pelos agentes chuva e vento. Em contrapartida, os Vertissolos, por apresentarem maiores concentrações de argila, resultam em agregados mais estáveis e, conseqüentemente, maior resistência à desagregação, porém, esses solos apresentam maior escoamento superficial devido a percolação que ocorre de forma lenta, ao contrário dos solos arenosos que infiltram maiores taxas de água.

Figura 4 - Mapas de krikagem da areia total, silte e argila em Vertissolo (A) e Neossolo (B)



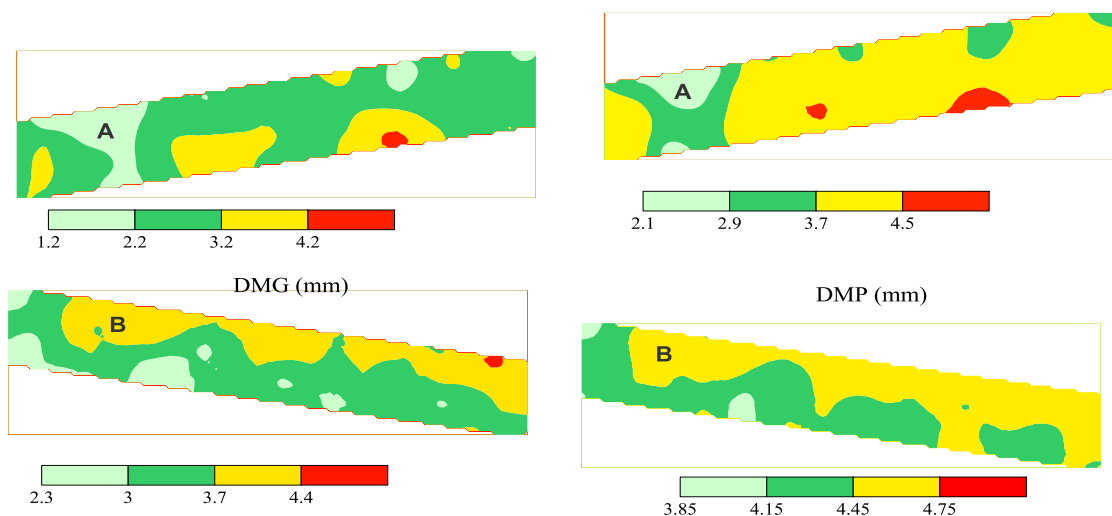
Fonte: Sá et al., 2018.

Nos mapas da Figura 5 observou-se que o Vertissolo (B) apresentou maiores valores de DMG e DMP em relação ao Neossolo (A), esse resultado pode estar atrelado ao fato de que os Vertissolos apresentam maiores teores de argila em relação aos Neossolos, e conseqüentemente, maior estabilidade de agregados.

Os Vertissolos são uma classe de solos que apresentam no mínimo 30% de argila na sua constituição, sendo responsável pela elevada capacidade de expansão quando úmidos e contração quando secos (SILVA et al., 2009), o que influencia em uma alta estabilidade quando secos e alta dispersão quando úmido. Essa dispersão pode ser explicada pelo menor tamanho das partículas e maior número de cargas elétricas, ocasionando forças repulsivas entre as partículas que provocam a fragmentação dos agregados, explicando assim, a maior variabilidade espacial neste solo.

Solos bem manejados e com alto índice de agregação são mais resistentes às forças erosivas e aos processos de compactação promovidos pelo uso de maquinário pesado, sendo imprescindível garantir um alto nível de agregação por meio de práticas conservacionistas, que mantém o poder de agregação e melhora a qualidade das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

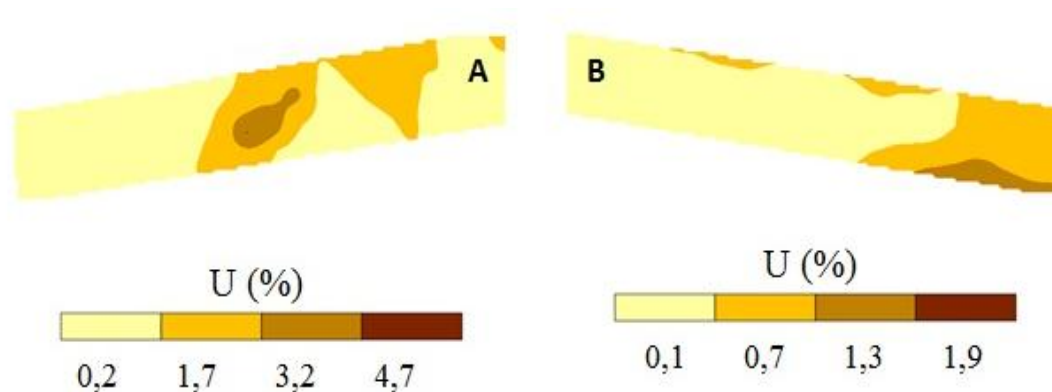
Figura 5 - Mapas de krigagem do diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado em Neossolo (A) e Vertissolo (B).



Fonte: Sá et al., 2018.

As duas áreas apresentaram baixos teores de umidade (Figura 6), variando de 0,2% a 4,7% no Neossolo e de 0,1 a 1,9% no Vertissolo. Esses valores podem ser justificados pelo período em que foi realizada a coleta, dezembro do ano de 2017, período de seca na região, caracterizado por altas temperaturas e baixo índice de precipitação, resultando em baixa umidade. Porém, constatou-se que os maiores teores de umidade ocorrem no centro da área de Neossolo, essa variabilidade foi ocasionada pela irrigação de um experimento na localidade.

Figura 6 - Mapa de isolinhas da umidade em Neossolo (A) e Vertissolo (B)

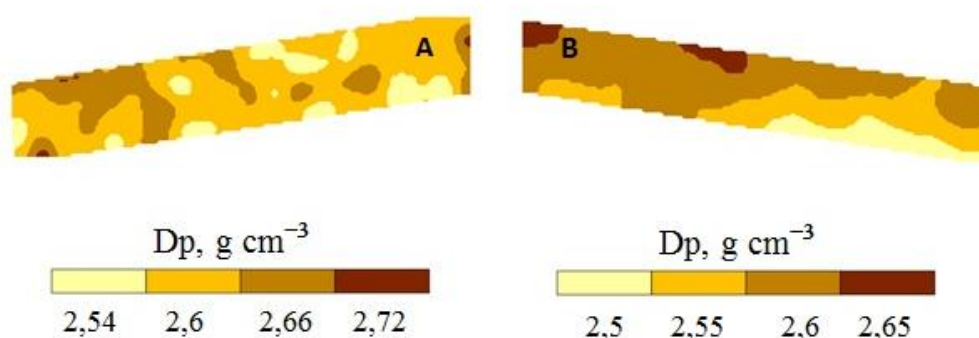


Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Os mapas de isolinhas para densidade de partículas nos dois solos estudados encontram-se na Figura 7. Os maiores valores de densidade de partículas foram

verificados no Neossolo, variando de $2,54 \text{ g.cm}^{-3}$ chegando a $2,72 \text{ g.cm}^{-3}$, essa área também apresentou uma maior variabilidade quando comparada ao Vertissolo. No Vertissolo, grande parte da área se encontrou em uma faixa de densidade de partículas de $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$, em decorrência da gênese do solo, pois na área há predominância de Feldspato. A densidade de partículas é um atributo que apresenta pouca variabilidade em função do manejo e uso do solo, variando apenas de acordo com a mineralogia do solo, quanto maior a densidade de partículas, maior será o peso das partículas, oferecendo maior resistência do solo aos processos erosivos.

Figura 7 - Mapas de isolinhas da densidade de partículas (D_p) no Neossolo (A) e Vertissolo (B)



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

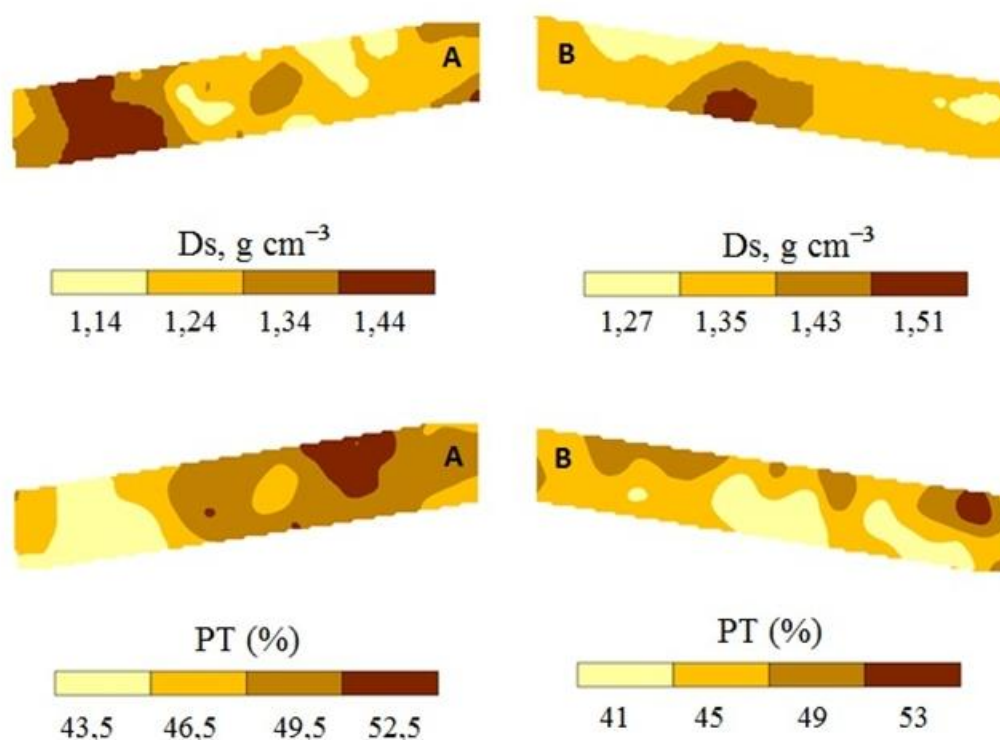
Observa-se no mapa de isolinhas da densidade do solo (Figura 8), que o Neossolo apresentou maior variabilidade espacial. Os valores da D_s no Neossolo (A) variaram de $1,14$ a $1,44 \text{ g.cm}^{-3}$, enquanto que o Vertissolo (B) encontrou-se em uma faixa de $1,27$ a $1,51 \text{ g.cm}^{-3}$. De acordo com a literatura, valores de D_s maiores que $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$ são considerados altos, menores que $1,3 \text{ g.cm}^{-3}$ como baixos, e valores encontrados nessa faixa são moderados. Nessa perspectiva, ambas as áreas apresentaram, na sua maioria, valores intermediários de densidade do solo.

A densidade do solo é uma propriedade física que sofre bastante influência das práticas agrícolas, podendo aumentar ou reduzir a D_s do solo. Esse atributo está bastante relacionado ao espaço poroso do solo (PT), logo, quanto maior a porosidade, menor será a densidade do solo, e vice versa. Nesse sentido, solos que apresentam altos valores de D_s são mais susceptíveis à degradação do solo por erosão, pois o volume total de poros estará reduzido, implicando em menores taxas

de infiltração e maiores volumes de água escoando, provocando perdas de solo pelo escoamento superficial.

A porosidade total (Figura 8) variou de 43,5% a 52,5% no Neossolo e de 41 a 53% no Vertissolo, ocorrendo maior variabilidade desse atributo no Neossolo. A porosidade e densidade do solo apresentaram comportamentos semelhantes, visto que esses atributos estão intrinsecamente relacionados, sendo inversamente proporcionais, logo, nas regiões que apresentaram maior porosidade total, a densidade do solo foi menor.

Figura 8 - Mapas de isolinhas da densidade do solo (Ds) e porosidade total (PT) no Neossolo (A) e Vertissolo (B)



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

5.2 Identificação e Análise dos pontos de Erosão

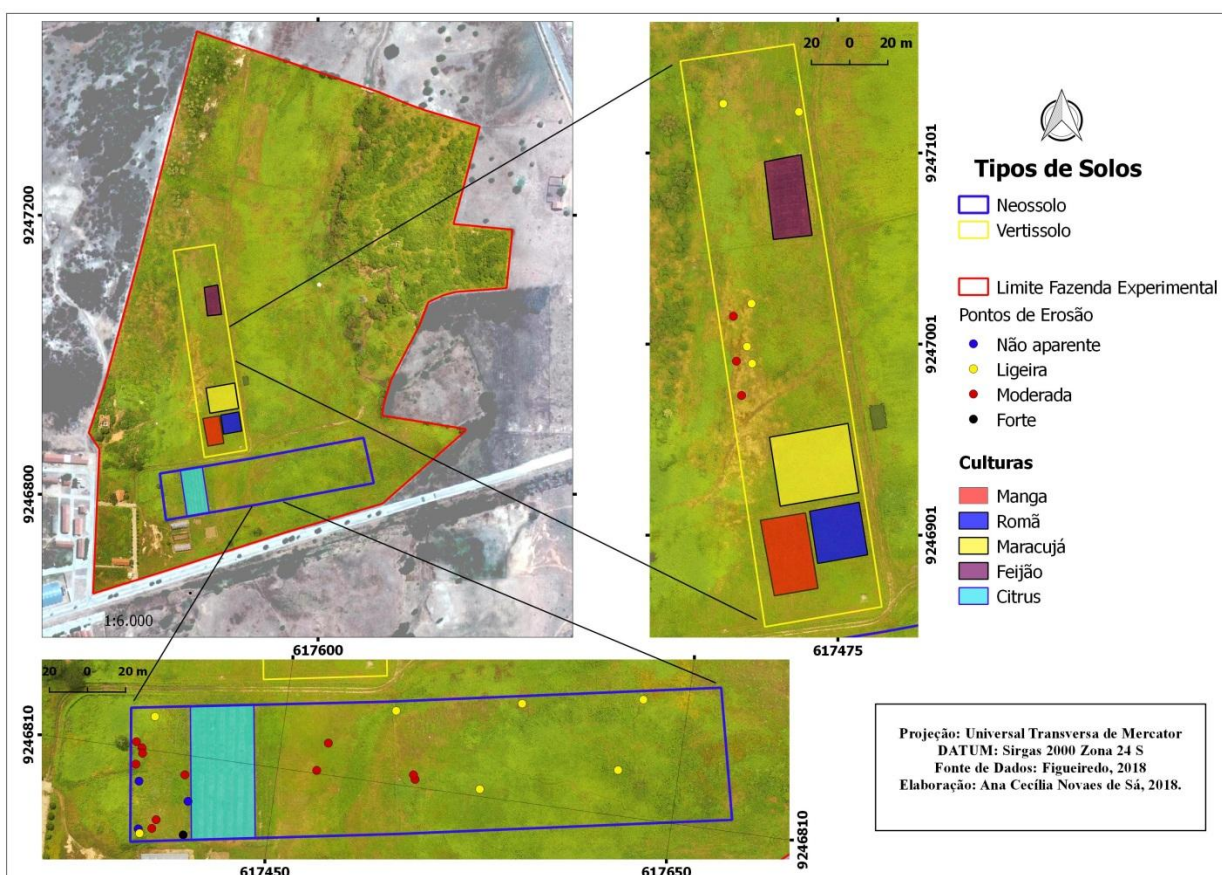
A avaliação dos pontos de erosão in loco ocorreu no mês de agosto de 2018. No levantamento dessas informações, foi possível verificar as diferentes formas de uso e ocupação do solo, na qual foi identificado diversos experimentos de culturas que reúnem citrus, manga, romã, maracujá e feijão (Figura 9). As áreas analisadas, apesar de próximas, manifestaram classes de solos diferentes, sendo uma área

Neossolo e outra Vertissolo, esses solos possuem características distintas, nas quais foram evidenciadas por meio dos mapas de isolinhas.

As feições de erosão encontradas nas áreas de Neossolo e Vertissolo podem ser verificadas na Figura 9. Foram identificados 32 pontos de erosão, sendo 24 pontos no Neossolo e 8 no Vertissolo, porém, não foi possível identificar erosões em grande parte da área de Vertissolo, em decorrência da gradagem realizada para implantação de culturas agrícolas (Figura 10).

No Vertissolo a maioria dos pontos apresentou erosão laminar ligeira, já no Neossolo, constatou-se que grande parte das erosões foram classificadas como sulcos, com grau moderado, ou seja, houve perda de solo do horizonte A de 25 a 75%. Geralmente, sulcos que apresentam essa classificação não são desfeitos com práticas convencionais de preparo do solo, sendo necessária a adoção de práticas conservacionistas, principalmente de caráter vegetativo ou mecânico.

Figura 9 - Pontos de erosão identificadas nas áreas de Neossolo e Vertissolo



Fonte: Elaborada pela autora, com dados extraídos de Figueiredo (2018).

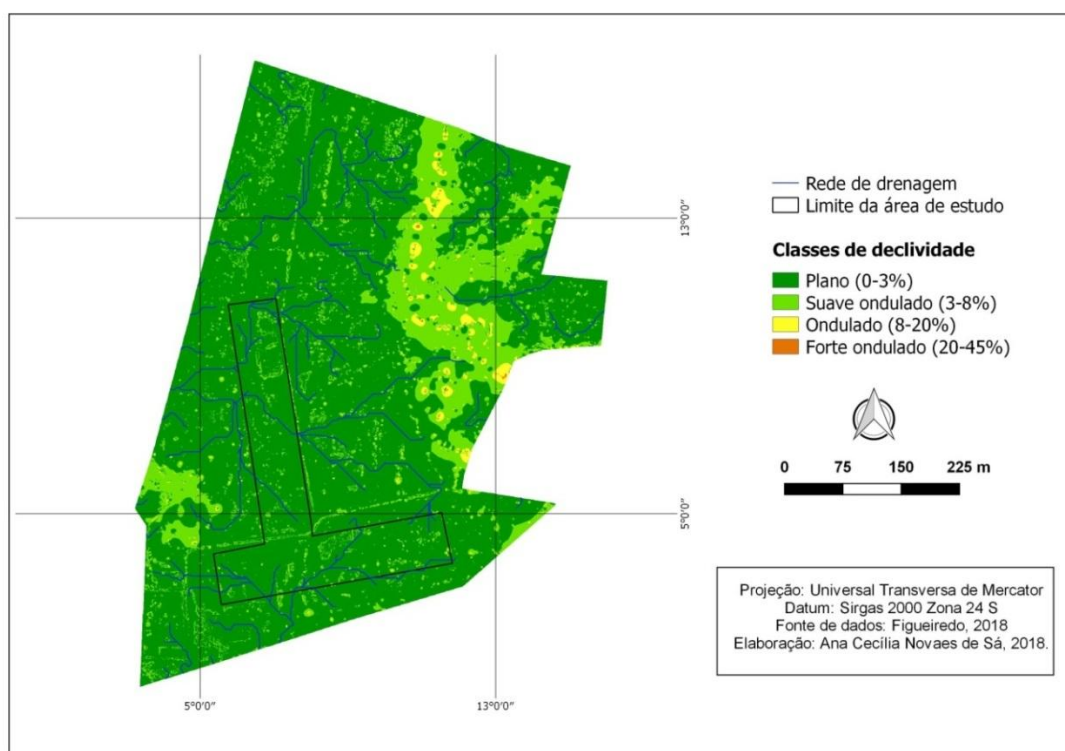
Figura 10 - Etapa de preparo do solo para implantação de experimentos



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

A declividade do solo é um fator que apresenta grande influência no processo erosivo, pois a velocidade no qual o material é arrastado depende dessa variável. Logo, quanto maior a declividade, maior será a susceptibilidade do solo à erosão. A área apresentou superfícies variando de planas (0 – 3%) a suave-onduladas (3 – 8%), com média de 1,185, logo pode ser caracterizada como uma área predominantemente plana, constatando que a declividade não é um fator atuante na ocorrência da erosão das áreas de estudo (Figura 11).

Figura 11 - Mapa de declividade da área de estudo



Fonte: Elaborada pela autora, com dados extraídos de Figueiredo (2018).

A tabela 6 apresenta a quantificação das áreas de acordo com cada classe de declividade. Constatou-se que 94,4% da área apresentou relevo plano, essas áreas quando próximas a cursos d'água podem apresentar vulnerabilidade a alagamentos e problemas com drenagem (DE BIASI, 1970).

Tabela 6 - Distribuição das classes de declividade e suas respectivas áreas

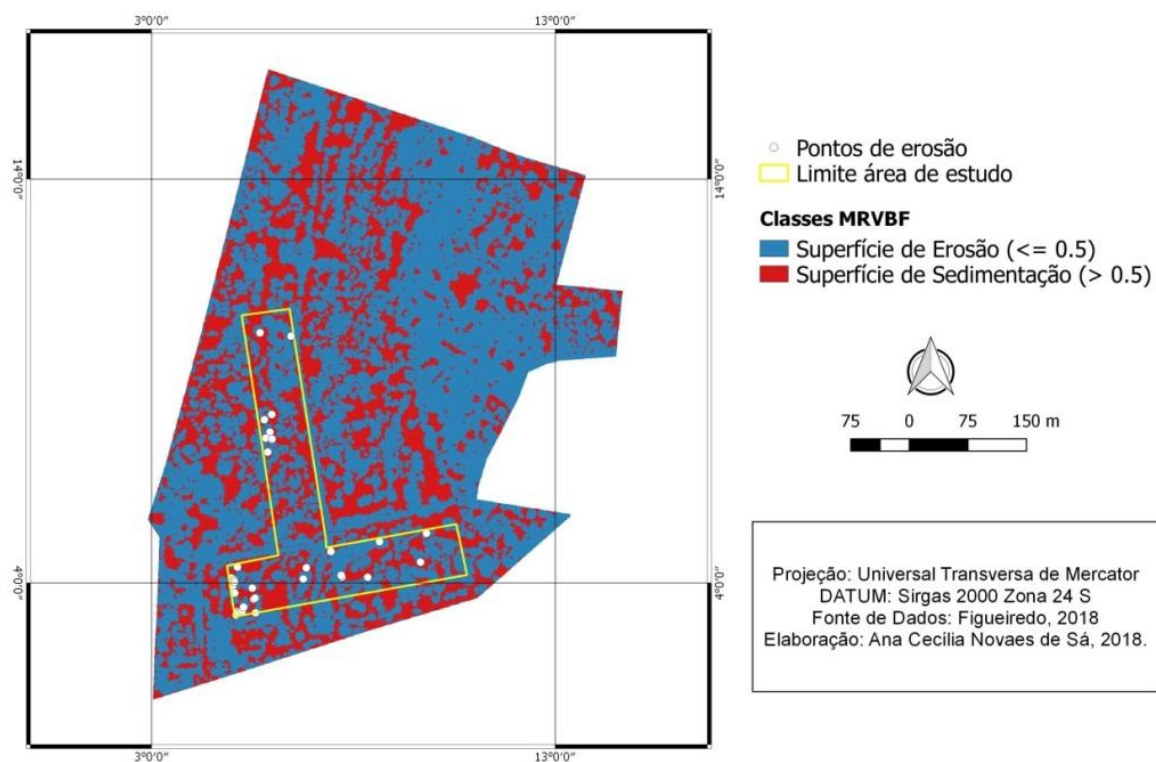
Declividade (%)	Relevo	Área (ha)	%
0 – 3	Plano	3,75	94,4
3 – 8	Suave-ondulado	0,208	5,24
8 – 20	Ondulado	0,0143	0,353
20 – 45	Forte ondulado	0,000278	0,007
Total		3,97	100

Fonte: Elaborado pela autora, com dados extraídos da Embrapa (1979).

Ambas as áreas de estudo apresentaram distribuição similar dos índices de erosão e sedimentação, porém, o Vertissolo demonstrou apresentar maiores superfícies de sedimentação (Figura 12). Com essa análise constatou-se também que a maioria dos pontos de erosão analisados in loco se sobrepõem as superfícies de erosão. Ao comparar os mapas de isolinhas da textura do solo com o mapa de MRVBF, podemos verificar que as áreas que apresentam maiores níveis de areia, são superfícies de sedimentação, podendo explicar os altos níveis de areia nas áreas, principalmente no Vertissolo.

As maiores superfícies de erosão foram verificadas no Neossolo, que pode ser explicada pela alta variabilidade dos atributos neste solo, como constatado por meio dos mapas de krigagem. A área de Neossolo por apresentar elevados teores de areia, baixa porosidade, alta densidade do solo, promovem ao solo maior susceptibilidade à erosão, necessitando da adoção de práticas conservacionistas que proporcione condições adequadas ao ambiente e reduza as perdas de solo e seus constituintes pelos processos de erosão.

Figura 12 - Mapa das classes do índice MRVBF



Fonte: Elaborada pela autora, com dados extraídos de Figueiredo 2018.

6 CONCLUSÕES

Todos os atributos apresentaram dependência espacial, possibilitando a análise geoestatística dos dados. O Neossolo apresentou maior variabilidade espacial quando comparado ao Vertissolo, sendo necessária a adoção de um manejo específico que permita reduzir a heterogeneidade da área e os consequentes impactos ambientais.

O fator de influência no processo erosivo da área foram as propriedades físicas do solo: textura, estrutura, densidade e porosidade; visto que a área é predominantemente plana. Porém, apesar das poucas feições de erosão encontradas, é necessária a adoção de práticas conservacionistas que reduzam as perdas de solos por erosão.

Nesse sentido, o estudo é de suma importância na análise das condições ambientais da área, para que se possa realizar uma gestão efetiva da mesma, além de servir como suporte para estudos futuros.

7 REFERÊNCIAS

- AHMED, Clarissa Regina Masiero. **Fatores que influenciam a erodibilidade nos solos do município de Campos dos Goytacazes-RJ sob uma análise multicritério**. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Geotecnia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes-RJ, 2009.
- ANDREOLA, F., COSTA, L. M., OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 857-865, out/dez. 2000.
- ÁVILA, Frederico Fernandes de. **Análise da cobertura pedológica em uma topossequência na Bacia do Córrego dos Pereiras - Depressão de Gouveia/MG**. 2009. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- BAGATINI, Tatiane. **Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- BERTOL, I., BEUTLER, J. F., LEITE, D., BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 555-560, jul./set. 2001.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; AMARAL, A.J. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico aluminico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p.465-71, 2002.
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 9. ed. São Paulo, 2014. 355 p.
- BEZERRA, S. A., CANTALICE, J. R. B., FILHO, M. C., SOUZA, W. L. S. Características hidráulicas da erosão em sulcos em um cambissolo do semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 34, n. 4, p. 1325-1332, 2010.
- BLAINSKI, E., TORMENA, C. A., FIDALSKI, J., GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 975-983, 2008.
- BOCHNER, J. K., FERNANDES, M. M., PEREIRA, M. G., BALIEIRO, F. B., SANTANA, I. K. S. Matéria orgânica e agregação de um planossolo sob diferentes coberturas florestais. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 46-53, 2008.
- BOURGAULT, G.; JOURNAL, A. G.; RHOADES, J. D.; CORWIN, D. L., LESCHG, S. M. Geostatistical analysis of a soil salinity data set. **Advances in Agronomy**, v. 58, p. 241-292, 1997.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Ministério do Meio Ambiente. Ministério da Ciência e Tecnologia. Portaria Interministerial no. 1, de 9 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 mar. 2005. Seção 1, p. 41.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CENTURION, J. F., CARDOSO, J. P., NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.

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.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. 103 p.

CUNHA, C. M. L., PINTON, L. G. Avaliação da capacidade de uso da terra da bacia do córrego do cavalheiro - Analândia, SP. **Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 459-471, 2012.

DE BIASI, M. **Carta de Declividade de Vertentes: Confecção e Utilização**. São Paulo. Instituto de Geografia – USP, 1970.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn, GTZ, 1991. 272p.

DYONISIO, H. A. F. Erosão hídrica: suscetibilidade do solo. **Revista Eletrônica Thesis**, São Paulo, ano VII, n. 13, p. 15-25, 1º semestre, 2010.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83 p.

FARIA, A. L. L., SILVA, J. X., GOES, M. H. B. Análise ambiental por geoprocessamento em áreas com susceptibilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**. v. 4, p. 50-65, 2003.

FIGUEIREDO, M. L. Protocolo metodológico para levantamento de dados matriciais (imagens) com veículos aéreos não tripuláveis (VANT's) de baixo custo, popularmente conhecido como drones em recortes espaciais locais. In: Congresso XV Congresso de Iniciação Científica da UFCG, 2018, Campina Grande, **Anais...** Campina Grande.

FILHO, C. C., MUZILLI, O., PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527-538, 1998.

FILHO, J. T., BARBOSA, G. M. C., GUIMARÃES, M. F., FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25. P. 725-730, 2001.

FRANZMEIER, D. P. **Soil landscape and erosion processes**. In: LARSON, W. E., ed. Proceedings of soil erosion and productivity workshop. Bloomington, University of Minnesota, 1990. p. 13-15.

GAMMA DESIGN SOFTWARE, **GS+**: Geostatistics for the environmental Sciences. Gamma Design Software. Michigan: Plainwell, 2008.

GOMIDE, Plínio Henrique Oliveira. **Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2009.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 32-37. 2005.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. (Org.) GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. Rio de Janeiro, ed. Bertrandt, Brasil, 1995, p. 149-209.

GUERRA, A. J. T., BOTELHO, R. G. M. Características e propriedades do solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 19, 1996.

GUTH, P. L. **Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de culturas oleaginosas**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic, 1980. 413 p.

HÖFIG, P., ARAUJO JUNIOR, C. F. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no Estado do Paraná. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 195 – 203, abr/jun, 2015.

ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford, Oxford University Press, 1989. 592 p.

JACOMINE, P.K.T. Solos sob Caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: SBCS, p. 95-133, 1996.

JOHANN, J. A., OPAZO, M. A. U., SOUZA, E. G., ROCHA, J. V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 8, n. 2/3, p.212-219, 2004.

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

LIMA, C. L. R., PAULETTO, E. A., GOMES, A. S., SILVA, J. B. Estabilidade de agregados de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 199-205, 2003.

LIMA, E. R. V. **Erosão do solo: fatores condicionantes e modelagem matemática**. Revista Cadernos do Logepa – Série Pesquisa. Ano 1, n. 1, jan/jun. 2003. 46 p.

LIMA, F. V.; SILVINO, G. S.; MELO, R. S. S.; LIRA, E.; RIBEIRO, T. S. Variabilidade Espacial de Atributos Físicos do Solo Em área de Encosta sob Processo de Degradação. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 53 – 63, out. – dez., 2015.

MACKENZIE, N. J., GALLANT, J. C., DOWLING, T. I. **Modelling wetland extent using terrain indices, Lake Taupo**, NZ. In: International Congress on Modelling and Simulation, Christchurch, p 10 – 14. December, 2007.

MAIA, S. M. F., XAVIER, F. A. S., OLIVEIRA, T. S., MENDONÇA. E. S., FILHO, J. A. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 4. ed. Porto Alegre, 2012. 280 p.

MOTA, A. R. P.; CARDOSO, M. E. S.; SANTOS, D. H. Erosão e Conservação dos Solos na Microbacia do Córrego do Veado. **Colloquium Agrarie: Presidente Prudente**, v. 4, n. 1, p. 09-17, 2008.

NASCIMENTO, Jorge Glauco Costa. **A influência da erosão na regeneração de clareiras**. 2009. 162 f. Tese (Dourado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2009.

NETO, F. C. C. et al. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 1, p. 75-83, jan./mar. 2015.

OLIVEIRA, F. P., BUARQUE, D. C., VIERO, A. C., MERTEN, G. H., CASSOL, E. A., MINELLA, J. P. G. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 337–346, 2012.

OLIVEIRA, J. B DE. **Pedologia aplicada**. 3. ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592 p.

PAGLIARINI, M. K., MENDONÇA, V. Z., ALVES, M. C. Distribuição de tamanho de agregados estáveis em água em solos de Selvíria-MS e Ilha Solteira-SP, Brasil. **Revista Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 6, n. 1, p. 45-51, mar. 2012.

PANACHUKI, Elói. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária**. 2003. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados-MG, 2003.

PAULINO, Patrícia da Silva. **Atributos físicos como indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no Estado de Santa Catarina**. 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Manejo do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

PERUSI, MARIA CRISTINA. **Discriminação de argissolos e avaliação da estabilidade de agregados por vias seca e úmida em diferentes sistemas de uso e manejo**. 2005. 116 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2005.

RAMOS, J. C., BERTOL, I., BARBOSA, F. T., MARIOTI, J., WERNER, R. S. Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um cambissolo húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 38: p. 1587-1600, 2014.

RAMPIM, L., FILHO, J. T., BEHLAU, F., ROMANO, D. Determinação da capacidade de uso do solo visando o manejo sustentável para uma média propriedade em Londrina-PR. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 2, p. 251-264, mar./abril. 2012.

REICHERT, J. M., KAISER, D. R., REINERT, D. J., RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 310-319, mar. 2009.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006. Disponível em: <http://portais.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf>

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1995. 304 p.

REYNOLDS, W. et al. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, n. 3-4, p. 466-474, 2008.

RODRIGUES, M. S. **Variabilidade espacial de atributos do solo e da produtividade de milho**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP.

SÁ, A. C. N., DANTAS, J. S., OLIVEIRA, I. R., ALVES, N. B. P., SILVA, F. A. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de solos do Semiárido Paraibano. In: **Solos: estudos e aplicações**. (Org.) FRANCISCO, P. R. M.,

SANTOS, R. F., VITAL, A. F. M., SANTOS, R. V. Campina Grande, ed. EPGRAF, 2018, v. 1, p. 117-125.

SAMPAIO, E. V. S. B., SALCEDO, I. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semiárida. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro, 1997. CD-ROOM.

SANCHEZ, R. B., JÚNIOR, J. M., SOUZA, Z. M., PEREIRA, G. T., FILHO, M. V. M. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.1095-1103, 2009.

SANTANA, Stefane Cardoso. **Indicadores físicos da qualidade de solos no monitoramento de pastagens degradadas na região sul do Tocantins**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO, 2009.

SANTOS, C. A. G., SILVA, R. M., SRINIVASAN, V. S. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semiárido da Paraíba. **Revista OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa-PB, v. 1, n. 1, p. 16-32, 2007.

SANTOS, K. S., MONTENEGRO, A. A. A., ALMEIDA, B. G DE., MONTENEGRO, S. M. G. L., ANDRADE, T DA. S., FONTES JÚNIOR, R. V. DE P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 16, n. 8, p. 828–835, 2012.

SANTOS, R. D. S., LEMOS, R. C., SANTOS, H. G., KER, J. C., ANJOS, L. H. C., SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. ampl. – Viçosa, MG: Sociedade Brasileira Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 100 p.

SCHERPINSKI, Clementina. **Variabilidade espacial de atributos físicos e hídricos do solo e produtividade da cultura da soja em uma área comercial**. 2005. 138 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel-PR, 2005.

SILVA, F. M.; CHAVES, M. S.; LIMA, Z. M. C. **Geografia Física II: Classificação e tipos de solos do Brasil e do estado do Rio Grande do Norte**. Natal, RN: EDUFRN, 240 p. 2009.

SILVA NETO, S. P., SANTOS, A. C., LEITE, R. L. L., DIM, V. P., CRUZ, R. S., PEDRICO, A., NEVES NETO, D. N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 541-552, abr/jun. 2011.

SILVA, S. A., LIMA, J. S. S., SOUZA, G. S., OLIVEIRA, R. B., SILVA, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 1-8, jan/mar, 2010.

SOARES, A. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente**. 2. ed. Lisboa, IST Press, 2006. 214 p.

SOUZA, C. K., JÚNIOR, J. M., FILHO, M. V. M., PEREIRA, G. T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1067-1074, 2003.

SOUZA, Z. M. et al. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 829-836, 2006.

SOUZA, Z. M., MARQUES JÚNIOR, J., PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 937-944, 2004.

SPAROVEK, R. B. M., TORRADO, P. V., SPAROVEK, G. Erosão em sulcos, entressulcos e voçorocas em uma microbacia de Piracicaba (SP) intensivamente cultivada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, out./dez. 1999.

SURFER FOR WINDOWS. Realese 7.0. Contouring and 3Dsurface mapping for scientist s engineers. **User s Guide**. New York: Golden software, 1999. 619 p.

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos e Análise do Solo**. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

TOMAZONI, J. C., GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 57, 2005.

TORRES, E., SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K. & UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 45-94, 1985.

TUNDISI, J.G. Biomanipulação para o gerenciamento de lagos e represas. In: **Diretrizes para o gerenciamento de lagos**. 2. ed. São Carlos, ILEC, 2001. v. 7, p. 33-51.

VICENTE, T. F. S., PEDROSA, E. M. R., ROLIM, M. M., OLIVEIRA, V. S., OLIVEIRA, A. K. S., SOUZA, A. M. P. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1215-1222, 2012.

VOLK, Leandro Bochi da Silva. **Condições físicas da camada superficial do solo resultantes do seu manejo e indicadores de qualidade para redução da erosão hídrica e do escoamento superficial**. 2006. 168 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILL, D. (ed.). Applications of soil physics. **Academic Press**, 1980. p. 319-344.