



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**



SAFIRA YARA AZEVEDO MEDEIROS DA SILVA

REGIME HÍDRICO E TÉRMICO DE NEOSSOLOS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO

**AREIA
2021**

SAFIRA YARA AZEVEDO MEDEIROS DA SILVA

REGIME HÍDRICO E TÉRMICO DE NEOSSOLOS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais. Linha de pesquisa: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Moreira Beirigo

Coorientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira

**AREIA
2021**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586r Silva, Safira Yara Azevedo Medeiros da.

Regime hídrico e térmico de neossolos do Semiárido
paraibano / Safira Yara Azevedo Medeiros da Silva. -
Areia:UFPB/CCA, 2021.

56 f. : il.

Orientação: Raphael Moreira Beirigo.

Coorientação: Flávio Pereira de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA-AREIA.

1. Ciência do Solo. 2. Terras secas. 3. Caatinga. 4.
Conteúdo de água. 5. Temperatura do solo. 6. Serviços
ecossistêmicos. I. Beirigo, Raphael Moreira. II.
Oliveira, Flávio Pereira de. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631.4(043.3)

REGIME HÍDRICO E TÉRMICO DE NEOSSOLOS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais. Linha de pesquisa: Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 30/11/2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Raphael Moreira Beirigo, Dr.
DSER/CCA/UFPB
Orientador



Profa. Jeane Cruz Portela, Dra.
DCAF/CCA/UFERSA
Examinadora externa



Rodrigo Macedo, Dr.
INSA
Examinador externo

“...A natureza compraz-se em um jogo de antíteses. Eles impõem por isto uma divisão especial naquele quadro. A mais interessante e expressiva de todas — posta, como mediadora, entre os vales nimiamente férteis e as estepes mais áridas. Relegando a outras páginas a sua significação como fator de diferenciação étnica, vejamos o seu papel na economia da terra.”

(Euclides da Cunha - Os sertões)

Aos meus pais, José Geraldo e Joalda, que me deram a direção do conhecimento, me ensinaram que a maior e melhor forma de aprendizagem é o exemplo. Com quem pude contar em todos os momentos para essa importante conquista.

AGRADECIMENTOS

À Deus e Nossa Senhora por ser fonte de todas as minhas energias e fortalezas;

Ao Professor Raphael, pela oportunidade em desenvolvermos juntos essa pesquisa. Por acreditar e acompanhar todo o processo de treinamento, sem medir esforços. Gratidão pelo cuidado, paciência, compreensão, sugestões construtivas e conversas inspiradoras. Por me ensinar não somente ciência, mas ética, perseverança e quebra de paradigmas. Por ser meu orientador e amigo;

Aos meus familiares, José Geraldo, Joalda, José Neto, Paulo Neto, Neto, Guga, Vovó Zezé, Cinha, Wilma, Patrícia, Pitty e Pituxa, por serem minhas maiores referências de amor, fidelidade e sabedoria. Por acreditarem e torcerem pelos meus voos mais altos. Por serem compreensivos à minha ausência física;

À UFPB pela infraestrutura e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela importante contribuição financeira por meio da bolsa de estudos ao longo o curso;

Aos meus grandes amigos, Joaquim Emanuel e Marco Aurélio, pela empatia e que estiveram juntos em todos os momentos para a construção desse manuscrito; por participarem das minhas dificuldades acadêmicas e me direcionarem para os caminhos de luz. Agradeço imensamente pela amizade construída e por cada gesto nobre demonstrado;

À RPPN - Fazenda Almas: Sr Arimatéia, Roberto Lima, Andinho, Lucas, Israel, Manu, Freire, Dona Dora, Sr. Edson, Wellington, pelos conhecimentos compartilhados, apoio aos trabalhos de campo, por tornarem os dias na fazenda com mais alegria e potencializar o convívio em coletividade;

Ao pesquisador e amigo Rodrigo Macedo, pela importante contribuição nas atividades desenvolvidas no campo e minha formação como mestre;

À Thalita, pela amizade, atenção e disponibilidade em colaborar com assuntos da física do solo;

Ao grupo de estudos em “Gênese e Funções Ambientais de Solos”, Beatriz, Kaio, Bolla, Bruno e Ailson;

À Danilo, Roberval, Pedro e ao meu co-orientador, Professor Flávio Pereira (laboratório de física – DSER), pela amizade e por toda contribuição nas análises e equipamentos;

Ao Professor Bruno pelo apoio com os equipamentos e metodologias no laboratório de matéria orgânica – DSER;

Laboratório de Física do Solo – Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Universidade de São Paulo pelo apoio com os equipamentos e metodologias;

À Empresa de Pesquisa Agropécuraria do Rio Grande do Norte pelo apoio em análises;

À professora Jeane Portela, orientadora e grande amiga que sempre deixou transparecer o amor pela ciência do solo e pela vida, com muita luz e paz de espírito. Dessa forma, me fazendo ver qual direção a ser seguida e motivando todo o percurso;

À Thais Cristina pela amizade e grande contribuição na estatística desse estudo.

À minhas amigas Maria Clara, Gescyka Meira, Tayse Palitot, Katarine Lara, Ellen Guerra, Gabriela Oliveira e ao meu amigo Dayanderson Dantas, gratidão pelos sorrisos, carinho, empatia, zelo e por estarem sempre comigo dividindo todos os pesos.

“Gracias a la vida que me há dado tanto”

SILVA, S. Y. A. M. **Regime hídrico e térmico de neossolos do Semiárido paraibano.** Areia-PB: UFPB, 2021. 56p. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo). Orientador: Raphael Moreira Beirigo.

RESUMO

As funções ambientais do solo e os serviços ecossistêmicos estão relacionados com a disponibilidade de água. Em ambientes áridos e semiáridos esta disponibilidade passa por períodos de alta e baixa abundância. Períodos curtos de alta disponibilidade de água são causados por eventos de chuva que suprem as necessidades de água. Em uma topossequência, a topografia e as formas do relevo determinam as diferenças dos atributos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos e biológicos do solo. Considerando as mesmas condições de formação do solo (clima, biota, tempo e material de origem) para todos os solos na topossequência, a variação no fluxo de água e calor é determinada apenas pela topografia e as formas do relevo. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o teor de água e as variações da temperatura do solo em uma topossequência com um sistema pedológico composto por um Neossolo Litólico e dois Neossolos Regolíticos na região semiárida do Estado da Paraíba, Brasil. Para isso, foram feitas análises morfológicas (estrutura, transição e profundidade dos horizontes) e físicas (curvas de retenção de água e condutividade hidráulica) e químicas (de rotina para fins de classificação de solo, carbono orgânico e matéria orgânica). Para determinação do regime hídrico e térmico dos solos foi avaliado a tensão e o conteúdo de água e a temperatura com sensores MPS-2 (Decagon Devices®) e coleta mensal de amostras em todos os horizontes dos solos durante um ano. Os solos apresentam água retida a tensões > 1500 kPa e temperaturas $> 20^{\circ}\text{C}$ por mais de 90 dias dentro da seção de controle o que classifica o regime hídrico como arídico e térmico como hipertérmico de acordo com Soil Survey Division Staff. O Neossolo Litólico que ocorrem no ombro da topossequência apresentou o maior conteúdo de água e menor tensão no mês mais seco (novembro de 2017) o que pode ser atribuído ao maior teor de matéria orgânica e composição diferente da que ocorre nos Neossolos Regolíticos. O regime hídrico e térmico destes solos tem relação direta com os serviços ecossistêmicos relacionados ao ciclo da água.

Palavras-chave: Terras secas. Caatinga. Conteúdo de água. Temperatura do solo. Serviços ecossistêmicos.

SILVA, S. Y. A. M. **Regimes hydric e termic of Entisols in the semiarid zone (Cariri) of Paraíba, Brazil.** Areia-PB: UFPB, 2021. 56p. (Master's Dissertation in Soil Science). Advisor: Raphael Moreira Beirigo.

ABSTRACT

Soil environmental functions and ecosystems services are related with water availability. In arid and semiarid environments this availability goes through periods of high and low abundance. Short periods of high water availability are caused by rainfall events which supply water needs. In a toposequence, topography and landform variation determine soil morphology, physics, and chemical biology differences in which soils are developed. Considering the same conditions of soil formation (climatic, biotic, time and parent material) for all soils in the toposequence, the variation in water and heat flux are determined only by topography and landform. Thus, the objective of this study was to evaluate the water content and soil temperature variations in a toposequence with a pedological system composed of a Lithic Torriorthents, Typic Torriorthents and Typic Torripsmamments in the semiarid region of the State of Paraíba, Brazil. For this, morphological (structure, transition, and depth of horizons) and physical (water retention curves and hydraulic conductivity curves) and chemical analyzes (routine for soil classification, organic carbon, and organic matter) were performed. To determine the soil water and thermal regime, the tension and water content and temperature were evaluated with MPS-2 sensors (Decagon Devices®) and monthly samples collected in all soil horizons for one year. The soils present water retained at tensions > 1500 kPa and temperatures $> 20^{\circ}\text{C}$ for more than 90 days within the control section, which classifies the soil moisture regime as aridic and thermal as hyperthermic according to Soil Survey Division Staff. The Lithic Torriorthents that occur in the shoulder of the toposequence presented the highest water content and lower tension in the driest month (November 2017), which can be attributed to the higher content of organic matter and composition than that of the Typic Torriorthents and Typic Torripsmamments. The soil moisture and temperature regime of these soils is related to the ecosystem services related to the water cycle.

Keywords: Dry lands. Caatinga. Soil water content. Soil temperature. Ecosystem services.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Posição na vertente e classificação dos solos no SiBCS e no <i>Soil Taxonomy</i>	36
Tabela 2. Atributos químicos de neossolos em topossequência no Cariri paraibano.....	36
Tabela 3. Análise granulométrica de Neossolos em topossequência no Cariri Paraibano.....	37
Tabela 4. Atributos morfológicos dos Neossolos do Semiárido paraibano.....	40
Tabela 5. Potencial hídrico, termogravimetria e temperatura por horizontes de Neossolos em topossequência no Cariri paraiban.....	43
Tabela 6. Análise dos atributos: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e condutividade hidráulica saturada dos neossolos do Cariri paraibano.....	45
Tabela 7. Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos físicos do solo nas áreas em estudo.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição das terras secas no mundo, de acordo com a classificação da UNCCD.....	14
Figura 2. Mapa do Brasil, Nordeste e região semiárida.....	15
Figura 3. Mapa do Brasil com as regiões, mapa da região nordeste e mapa do estado da Paraíba em destaque a microrregião do Cariri Ocidental.....	16
Figura 4. Diagrama conceitual ligando as principais propriedades do solo aos serviços ecossistêmicos através das funções do solo.....	25
Figura 5. Localização da área. Mapa do Brasil, estado da Paraíba e RPPN Fazenda Almas.....	28
Figura 6. Precipitação pluvial e temperatura média anual de São José dos Cordeiros –PB....	29
Figura 7. Topossequência, seguimentos da vertente e fluxos de água.....	34
Figura 8. Formas do relevo e linhas de fluxos superficiais de água no solo na topossequência.....	35
Figura 9. (A) Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (<i>Lithic Torriorthents</i>) - Ombro; (B) Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (<i>Typic Torriorthents</i>) – Terço médio; (C) Neossolo Regolítico Psamítico típico (<i>Typic Torripsammments</i>) - Terço inferior.....	39
Figura 10. Dados de precipitação, temperatura e conteúdo de água. A= Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (<i>Lithic Torriorthents</i>); B = Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (<i>Typic Torriorthents</i>) e C = Neossolo Regolítico Psamítico típico (<i>Typic Torripsmamments</i>).....	41
Figura 11. Curvas características de retenção de água do A= Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (<i>Lithic Torriorthents</i>); B = Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (<i>Typic Torriorthents</i>) e C = Neossolo Regolítico Psamítico típico (<i>Typic Torripsmamments</i>).....	44
Figura 12. Dendrograma verticais da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples (P1. A – Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário, horizonte A; P1. C1 - Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário, horizonte C1; P2. A - Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, horizonte A; P2. C1 - Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, horizonte C1; P3. A – Neossolo Regolítico Psamítico típico, horizonte A; P3. C1 - Neossolo Regolítico Psamítico típico, horizonte C1).....	47
Figura 13. Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores e variáveis segundo fator loadings.....	48

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 REGIÕES SEMIÁRIDAS.....	14
2.2 FATORES DE FORMAÇÃO DE SOLOS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS.....	16
2.3 SOLOS DA REGIÃO SEMIÁRIDA DA PARAÍBA.....	19
2.4 HIDROLOGIA E TEMPERATURA DO SOLO.....	20
2.5 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DO SOLO.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	27
3.2 GEOMORFOLOGIA E SISTEMA PEDOLÓGICO.....	30
3.3 ANÁLISES DE CAMPO.....	30
3.4 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS.....	31
3.4.1 Atributos químicos.....	31
3.4.2 Atributos físicos.....	31
3.4.2.1 Granulometria.....	31
3.4.2.2 Densidade, porosidade e condutividade hidráulica.....	31
3.4.2.3 Curva de retenção de água no solo.....	32
3.4.2.4 Monitoramento da umidade e temperatura do solo.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 RELEVO E SISTEMA PEDOLÓGICO.....	34
4.1.1 Topossequência.....	34
4.2 SOLOS.....	35
4.2.1 Classificação.....	35
4.2.2 Morfologia.....	38
4.3 REGIME HÍDRICO E TÉRMICO DOS SOLOS.....	40
4.3.1 Umidade e temperatura dos solos.....	40
4.3.2 Análise de componentes principais.....	45
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas apresentam uma dinâmica cíclica, complexa e estão em constantes mudanças devido à interação da biosfera, hidrosfera, atmosfera e litosfera. Em ecossistemas de regiões semáridas a quantidade de água disponível para os diversos processos biogeoquímicos que ocorrem no solo é pouca na maioria do tempo, devido ao padrão climático ser intimamente representado pelas chuvas concentradas em poucos meses e estiagem prolongadas com alta taxa de evapotranspiração, que causa deficit hídrico.

O Cariri paraibano é a região semiárida mais seca do Brasil, alguns locais apresentam precipitação média anual de 350 mm (AESAs, 2018) e índice de aridez de 0,27.

Nesta região, há predomínio de Neossolos Litólicos, associados à Neossolos Regolíticos e afloramentos de rocha. São solos eutróficos, em geral possuem baixa fertilidade química natural, a excessão ocorre em função do material de origem. Caracterizado por textura arenosa e rasos a pouco profundos, que ocorrem em terrenos rochosos, pedregosos a extremamente pedregosos (BRASIL, 1972). Situação que dificulta a retenção de água e manutenção de alguns serviços ecossistêmicos do solo durante um longo período do ano.

O bioma Caatinga forma uma das potencialidades do semiárido e seus solos exercem importantes atuações para a manutenção e multifuncionalidade dos diversos ecossistemas terrestres. Tendo em vista que a vegetação nestes ambientes responde rápido a entrada de água no sistema, esta pode ser utilizada como indicador de mudanças climáticas, evidenciando as relações solo-paisagem (SILVA et al., 2010).

O índice de vegetação por diferença normativa proposto por Rouse et al. (1973), permite o monitoramento da densidade e do estado de vigor da vegetação verde sobre a superfície terrestre. Atualmente vem sendo utilizado pela comunidade científica em nível global, evidenciando parâmetros como modelagem climática e hidrológica; balanço de carbono, detecção de mudanças climáticas, atividades agrícolas, monitoramento de secas; entre outras aplicações (WARDLOW; EGBERT, 2008).

Por outro lado, a vegetação apresenta comportamentos variáveis em sua fisiologia e morfologia. A análise de apenas um componente da biosfera pode levar a erros de interpretação, no que se refere ao monitoramento hidrológico da paisagem, demonstrando incompletude para a indicação da quantidade de água disponível nos ecossistemas de regiões semiáridas.

O solo é considerado como o melhor estratificador de ambientes, formados pela interação da litosfera com a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera, atuando ao longo do tempo na paisagem (XIAO-YAN et al., 2012; RESENDE et al., 2014; PEREIRA et al., 2017).

O regime hídrico é resultado da relação dos incrementos temporários das perdas, retenção e movimento da água no solo (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2017). Pode ser determinado quantitativamente pelo balanço hídrico do solo, fundamentado na lei da conservação das massas, compreendendo mudanças da matéria de um estado ou local para outro e estimando a quantidade disponível de água no solo para a lixiviação e evapotranspiração. As classes do regime hídrico são descritas de acordo com a altura do lençol freático, ou do conteúdo de água retido no solo, na seção de controle de umidade a tensões menores que - 1500 kPa na seção de controle durante um determinado período do ano (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2017).

A determinação de regime hídrico dos solos é um critério que complementa a avaliação da hidrologia dos ecossistemas, sendo imprescindível sua determinação. Sobretudo em solos de regiões semiáridas, onde os recursos hídricos são escassos devido as sazonais e com distribuição irregular, muitas vezes concentrados em curtos períodos.

A energia térmica é transferida ao solo pelo fluxo de massa em movimento, dessa forma, a temperatura do solo é resultado dos fluxos de calor que ocorrem entre a superfície do solo e a atmosfera (HILLEL, 2004). O regime térmico do solo é mensurado pelo curso anual de sua temperatura na seção de controle, que pode ser medido por sensores de temperatura (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2017).

Portanto, os regimes hídrico e térmico do solo são importantes parâmetros para o monitoramento dos atributos físicos, químicos, biológicos e mineralógicos e dos serviços ecossistêmicos do solo.

No Brasil, poucos trabalhos foram realizados com o intuito de determinar o regime hídrico e térmico dos solos. Sobretudo no semiárido e em áreas onde os ecossistemas da Caatinga estão bem preservados, como na Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Almas. Diante disso, objetivou-se determinar os regimes hídrico e térmico em um sistema pedológico Neossolo Litólico-Neossolo Regolítico ao longo de uma topossequência no Cariri paraibano. O entendimento das funções do solo para os serviços ecossistêmicos, principalmente os relacionados ao ciclo da água é fundamental para a gestão dos recursos hídricos e da produção agropecuária em terras secas.

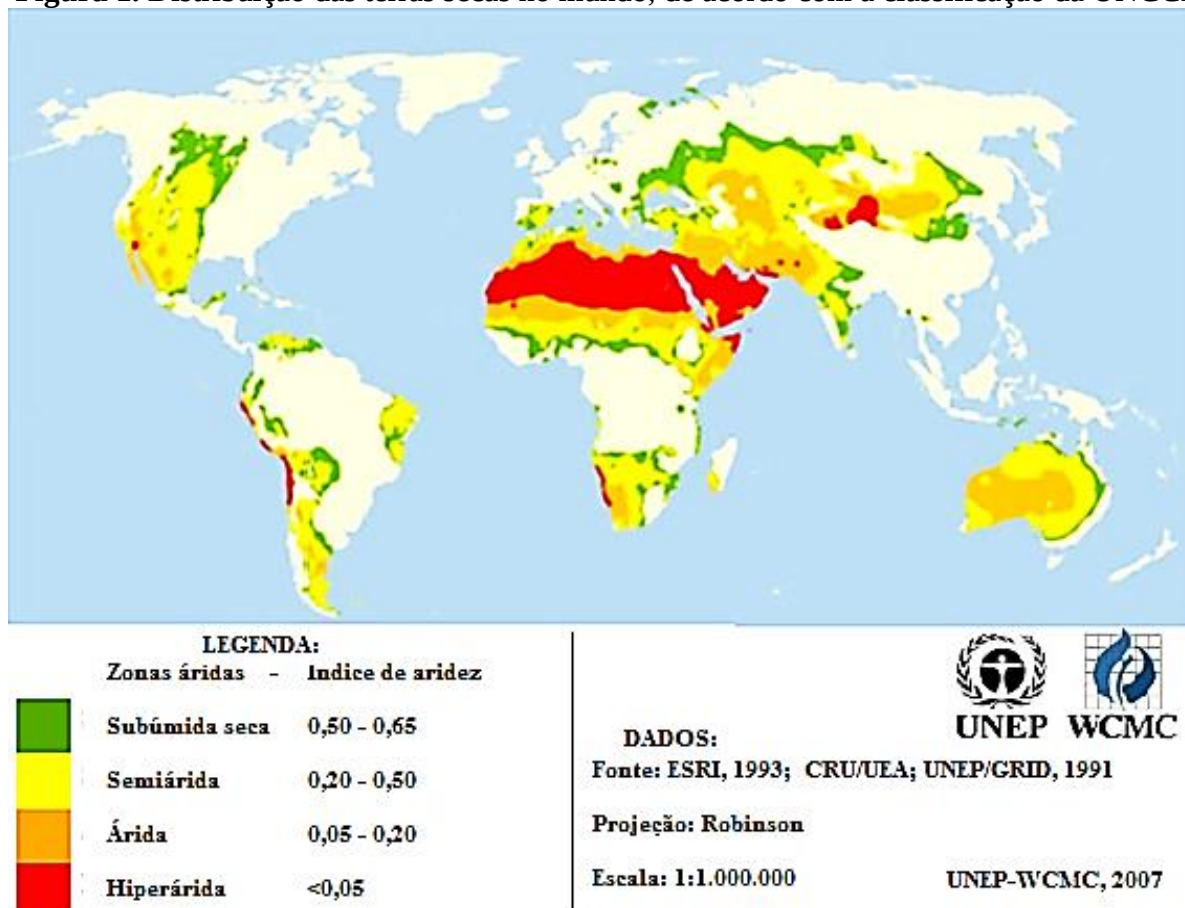
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 REGIÕES SEMIÁRIDAS

As principais características de regiões com clima semiárido são os baixos índices pluviométricos e, ou, a distribuição irregular das chuvas no tempo e no espaço e altas taxas de evapotranspiração ao longo do ano.

Estas fazem parte do conjunto das terras secas (Figura 1), regiões hiperáridas, áridas, semiáridas e subúmidas secas. A *United Nations Convention to Combat Desertification* (UNCCD) define as terras secas com base no índice de aridez [razão da média anual da precipitação pela evapotranspiração potencial] (SORENSEN, 2009).

Figura 1. Distribuição das terras secas no mundo, de acordo com a classificação da UNCCD.



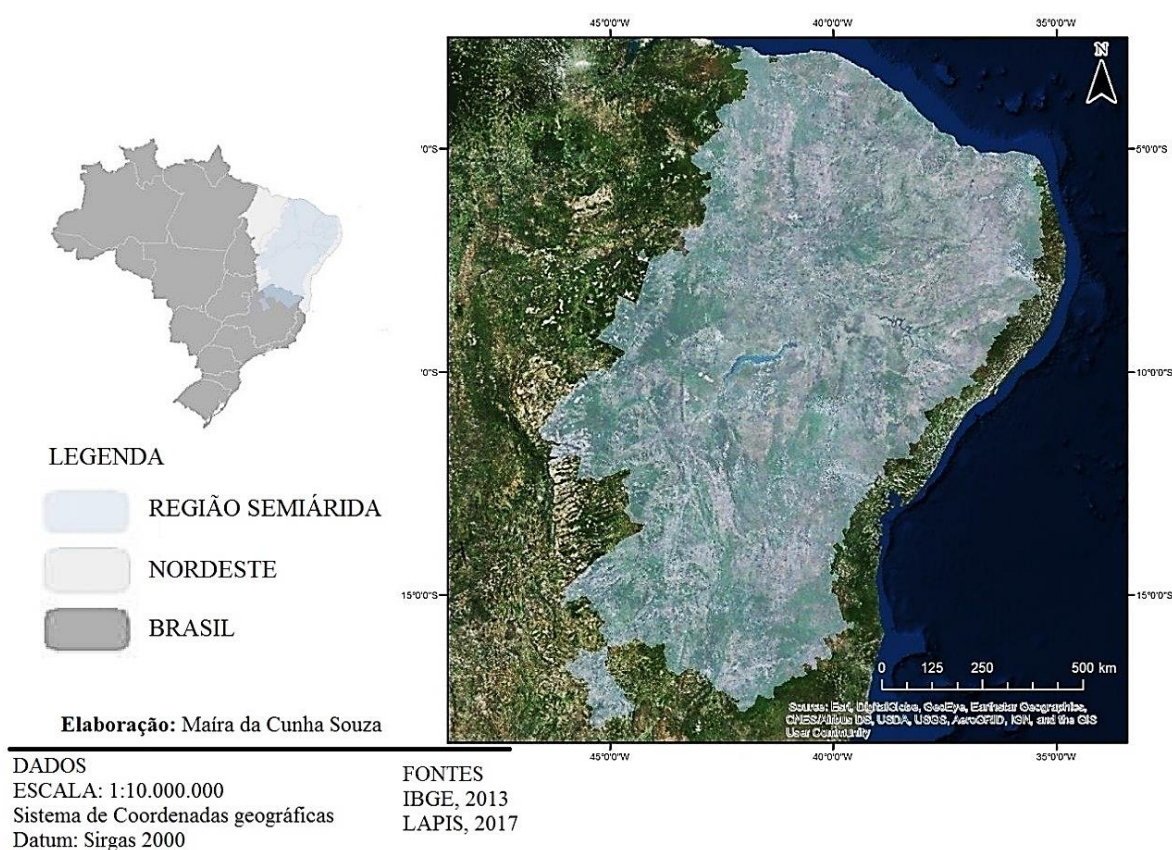
Fonte: Adaptado de Sorensen, 2009.

No mundo, as regiões semiáridas são mais representativas na África, Ásia, Austrália, América do Norte e do Sul (VERHEYE, 2009), com índice de aridez entre 0,2 e 0,5 (MIDDLETON; THOMAS, 1992). Geralmente com precipitação pluvial entre 200 e 400 mm

(PEEL et al., 2007), cobrindo cerca 1/3 da superfície terrestre, onde habitam cerca de 20 % da população mundial (GAISER et al., 2003). Estudos indicam que nos últimos 61 anos as regiões semiáridas da América do Sul são as mais úmidas do mundo (HUANG et al. 2016).

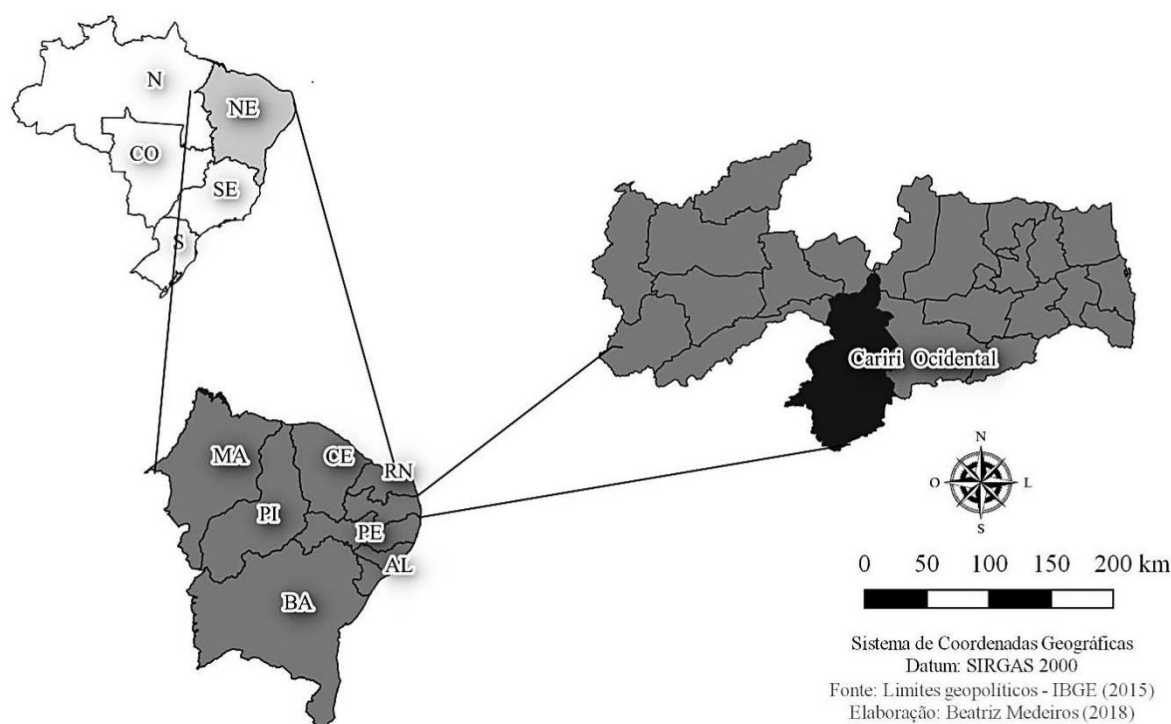
A região semiárida no Brasil ocupa uma área de 982.563,3 km², cerca de 20% do território brasileiro (Figura 2), localizada no Nordeste, onde vive 56.733 milhões de pessoas cerca de 30% da população do país (IBGE, 2017). Apresenta grande diversidade de solos, fauna e flora (MMA, 2002).

Figura 2. Mapa do Brasil, Nordeste e região semiárida.



A região do Cariri paraibano é a que tem o clima mais seco do Brasil (Figura 3), localizada na mesorregião da Borborema no estado da Paraíba (PARAÍBA, 2006). Apresenta as menores precipitações pluviométricas, com localidades como o município de Cabaceiras com precipitação média anual menor que 350 mm (AESA, 2018). Onde as taxas de evapotranspiração potencial são muito elevadas da ordem de 1300 mm/ano, variando de 83 mm no mês de junho a 134 mm no mês de dezembro (LEITE et al., 2011).

Figura 3. Mapa do Brasil com as regiões, mapa da região nordeste e mapa do estado da Paraíba em destaque a microrregião do Cariri Ocidental.



Processos locais devido a atividades antrópicas como a expansão da agropecuária por meio da conversão de ecossistemas naturais em agroecossistemas, queimadas, uso intensivo do solo, produção industrial, também podem provocar mudanças nos padrões climáticos, interferindo na redução dos serviços ecossistêmicos do solo como qualidade da água, biodiversidade e resiliência do solo as mudanças climáticas (LAL et al., 2014).

Dessa forma, essas mudanças refletem na relação entre sociedade e natureza, acarretando impactos ambientais, intensificam a escassez de água, tornando o problema mais marcante para a população de regiões semiáridas, principalmente aquelas que retiram seu sustento da atividade agrícola (RODRIGUEZ et al., 2015). Causando comprometimento dos reservatórios hídricos, da produção agrícola e criação de animais, refletindo em danos significativos e perdas socioeconômicas (PBMC, 2014).

2.2 FATORES DE FORMAÇÃO DE SOLOS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

A ação do clima como fator de formação do solo ocorre especialmente pela precipitação pluviométrica (quantidade e distribuição de chuvas) e da distribuição sazonal e variação durante o dia e a noite da temperatura (YOUNG, 1976; VAN WAMBEKE, 1992).

Em regiões com clima semiárido a pedogênese é limitada, devido aos baixos índices pluviométricos e, ou, a distribuição irregular das chuvas ao longo do ano (BUOL et al., 2011). Consequentemente nessas regiões o intemperismo do material de origem dos solos é baixo e o desenvolvimento pedogenético incipiente propiciando a formação de solos rasos a pouco profundos, mas geralmente eutróficos.

A geologia do Cariri Paraibano é composta por rochas do embasamento cristalino do Pré-Cambriano, apresentando predominantemente rochas ígneas e metamórficas, onde ocorrem leuco e biotita-granitos (com baixo teor de silício), granitos (alto teor de silício), granodioritos, ortognaisses e migmatitos, gnaisses, metagrauvacas, metavulcânicas, metavulcanoclásticas (SANTOS et al., 2002). Alguns destes materiais de origem limitam ainda mais a pedogênese por serem mais resistentes ao intemperismo. A água é o principal agente do intemperismo químico, no entanto em condições de clima semiárido a disponibilidade de água é limitada, logo o intemperismo físico se sobressai em relação ao químico, causando apenas a fragmentação da rocha em tamanhos menores (BRADY; WEIL, 2017).

O relevo é fator que controla a maioria dos fluxos de entrada/saída de matéria e energia no pedossistema. Relevos, com topografia plana a suave ondulada, favorecem os fluxos verticais de água, enquanto os com ondulada a montanhosa os fluxos horizontais, principalmente os de superfície, intensificando os processos erosivos e a formação de solos mais rasos.

A geomorfologia da paisagem do Cariri paraibano é caracterizada pela ocorrência de serras em meio à depressão e maciços isolados escarpados (MARQUES et al., 2017). O relevo varia de ondulado a suavemente ondulado com ocorrência de áreas com forte ondulado a montanhoso (BRASIL, 1972; FRANCISCO et al., 2015). As propriedades do solo são afetadas pela declividade e posição da paisagem, alterando principalmente o aporte de matéria orgânica, textura, agregação e porosidade (BUOL et al., 2011).

Os componentes da vertente apresentam comportamento diferente em relação aos fluxos de matéria e energia que ocorrem na paisagem (DALRYMPLE et al., 1968).

Os segmentos da vertente permitem a variação dos atributos do solo que interferem na dinâmica da água (retenção, infiltração e a drenagem) e no transporte lateral, influenciando nos processos pedogenéticos e no funcionamento dos solos (WYSOCKI et. al., 2011).

A atuação dos organismos no processo de formação dos solos é visivelmente compreendida por processos como a bioturbação, agregação e melanização (JENNY, 2005), participam na dinâmica dos solos em função do transporte de matéria orgânica não decomposta para as camadas subsuperficiais, na agregação e na coloração dos solos. As minhocas, cupins,

formigas e as plantas, devido à grandeza de suas populações, quantidade de biomassas e ações transformadoras, são organismos importantes nas características funcionais dos solos. (JOUQUET 2013; LAVELLE, 2016). A vegetação é o principal organismo para a adição de material orgânico no solo. Esses materiais influenciam em várias propriedades do solo, estimulando a atividade biológica, bem como condicionam determinados atributos físicos do solo, associados ao controle térmico e a retenção de água. O bioma caatinga é composto por muitas espécies endêmicas de plantas e animais.

A maioria das espécies vegetais são caducifólias e a senescência das folhas durante o período seco é um dos mecanismos de adaptação ao déficit hídrico. O sistema radicular bem desenvolvido aumenta a capacidade de obter água no solo. A baixa precipitação e a alta temperatura refletem no sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes, evaporação e outros serviços ecossistêmicos (BARRON-GAFFORD et al., 2011). Por outro lado, nas primeiras chuvas quando a água chega à superfície do solo seco cria-se um pulso de umidade do solo. No contexto biológico, a profundidade e o tempo são importantes, pois os potenciais de água do solo são elevados a níveis que promovem atividades biológicas (SCHWINNING; SALA, 2004).

Outros organismos como os cupins desempenham importante papel na ciclagem de nutrientes e na bioturbação (ANDERSON, 2005). Atuam nos processos de formação de solo, misturando o material orgânico, os minerais e construindo canais para infiltração de água (LIMBERGER et al., 2017). Minhocas e formigas também participam do processo de formação do solo, por meio da escavação, além de atuarem na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. As formigas têm papel importante na construção de túneis e galerias que influenciam na capacidade de distribuir e armazenar água no solo e podem ser consideradas boas indicadores da qualidade do solo, vegetação e clima (BARETTA et al., 2011; SILVA, 2017).

O tempo é o fator integrador dos outros fatores de formação, em escala geológica refere-se ao período em que os materiais de origem iniciam o processo de transformação (BRADY; WEIL 2017). É preponderante em locais onde os demais fatores atuam de modo fraco, como nas regiões semiáridas. Em escala diária existe influência direta nas propriedades térmicas do solo, como o calor específico, varia ao longo do dia, principalmente próximo a superfície (OCHSNER et al., 2007). A quantidade e o tempo de precipitação determinam o conteúdo, a disponibilidade e o fluxo da umidade do solo (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2017)

2.3 SOLOS DA REGIÃO SEMIÁRIDA DA PARAÍBA

A região semiárida da Paraíba apresenta alta diversidade de classes de solos, com ocorrência de Neossolos Litólicos, Luvisolos Crômicos, Argissolos Vermelhos, Vertissolos, Planossolos Nátricos e Hápticos, Neossolos Regolíticos, Cambissolos Hápticos, Neossolos Flúvicos e até Latossolos e Plintossolos Pétricos (BRASIL, 1972; PARAÍBA, 1978). Tal diversidade tem como a principal causa a variabilidade dos fatores de formação material de origem e relevo (NUNES et al., 2016).

Os Neossolos Litólicos são os solos mais representativos ocorrendo em uma área de 21.934,65 km² (38,81%) do Semiárido paraibano, a maioria apresenta caráter eutrófico associado à alta atividade da fração argila, textura média fase pedregosa e rochosa (Brasil, 1972). São solos que apresentam contato lítico dentro de uma profundidade de 50 cm, geralmente com exposição de rochas na superfície (EMBRAPA, 2013).

Enquanto os Neossolos Regolíticos são a quarta classe mais representativa no estado ocupando uma área de 2.0704,15 km² (4,78%), mesmo sendo da ordem dos Neossolos, são solos mais profundos que os Litólicos. Geralmente com caráter eutrófico, apresentam 4% ou mais de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo) na fração areia total e/ou no cascalho, em algum horizonte dentro de 150 cm e contato lítico além dos 50 cm da superfície do solo (EMBRAPA, 2013; NRCS, 2014; FAO, 2015). Essa característica confere aos solos uma reserva mineral potencial, para as plantas (OLIVEIRA, 2008). Contudo, esses solos apresentam geralmente baixo teor de matéria orgânica, fósforo (JACOMINE, 1996), elevada permeabilidade e baixa capacidade de retenção de umidade.

Os processos pedogenéticos são incipientes nestas classes de solos, apresentam sequência de horizontes A-R, A-C-R, A-Cr-R, A-Cr, A-C, O-R e os Regolíticos podem apresentar horizonte B incipiente com menos de 10 cm de espessura (EMBRAPA, 2013).

Nos Neossolos Regolíticos as características físicas e químicas podem ser influenciadas pelas precipitações pluviométricas. E os minerais mais comuns presentes na fração cascalho, areia e silte são o quartzo, o feldspato e a mica. Enquanto na fração argila há predomínio de caulinita, podendo ocorrer até mesmo quartzo (SANTOS, 2012; SARAIVA, 2016).

2.4 HIDROLOGIA E TEMPERATURA DO SOLO

O índice de vegetação por diferença normativa (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) proposto por Rouse et al. (1973), atualmente bastante utilizado pela comunidade científica em nível global permite o monitoramento da densidade e do estado de vigor da vegetação verde sobre a superfície terrestre (WARDLOW; EGBERT, 2008).

Tem sido utilizado para modelagem climática e hidrológica; balanço de carbono, detecção de mudanças climáticas, estimativas de referências da vegetação, atividades agrícolas, monitoramento de secas; detecção de desmatamentos, avaliação de áreas queimadas, entre outras aplicações.

Entretanto, a vegetação apresenta comportamentos variáveis em seu desenvolvimento vegetativo e a fisiologia da espécie, que podem levar a erros de interpretação em relação à quantidade e a disponibilidade de água no ecossistema. Principalmente se tratando de vegetação xerófita como a da Caatinga que tem vários mecanismos fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico. Logo, o NDVI demonstra incompletude para a indicação da quantidade e da disponibilidade de água para os vários serviços ecossistêmicos em Terras Secas. Sendo a determinação de regime hídrico dos solos, um critério que complementa essa caracterização da hidrologia dos ecossistemas.

Em solos de regiões semiáridas os recursos biológicos, como a água, nutrientes, e a biomassa, tem períodos de alta e de baixa abundância e biodisponibilidade. Os curtos períodos de abundância são geralmente desencadeados por eventos de chuva, que apesar da escassez generalizada nestes ecossistemas, pode saturar a demanda pelo recurso água durante curtos períodos ao longo do ano (SCHWINNING; SALA, 2004).

As chuvas são as principais formas de abastecimento de água no solo nas regiões semiáridas tropicais. Em função disso, o regime hídrico e térmico do solo é afetado pela quantidade e distribuição das chuvas, da distribuição na paisagem e dos processos pedogenéticos.

Atributos como a textura, porosidade, mineralogia, teor e tipo da matéria orgânica do solo são os que exercem maior influência na retenção de água no solo. Segundo Reinert e Reichert (2006), a textura e o tipo de argila, influenciam a dinâmica de água no solo como a drenagem, aeração, consistência e retenção de água. Em solos com baixo teor de matéria orgânica e textura arenosa a movimentação da água é rápida e baixa retenção de água, devido à predominância de macroporos (LEPSCH, 2002).

De forma geral, os Neossolos de regiões semiáridas apresentam pequena quantidade de argila e grande quantidade de areia, com predomínio de quartzo e feldspatos (SANTOS, 2012). Essa relação de baixos teores de argila e altos de areia é normalmente esperada para solos com pouco desenvolvimento pedogenético e formados a partir de rochas cristalinas (HILLEL, 2004; SANTOS 2012).

A matéria orgânica no solo (MOS) influencia a formação e o tipo de estrutura e velocidade de infiltração de água no solo (REICHARDT; TIMM, 2008; BRANDÃO et al., 2009). Dependendo do teor e dos grupos funcionais da matéria orgânica esta pode reter uma quantidade de água até vinte vezes a sua massa (STEVENSON, 1994).

A relação da granulometria e do teor de MOS tem influência direta na retenção de água no solo. A retenção de água em solos com textura arenosa é mais sensível à quantidade de MOS quando comparado aos solos de textura mais fina (RAWLS et al., 2003).

A profundidade é outra propriedade que tem efeito direto na movimentação, retenção e armazenamento de água no solo. A profundidade influenciará no pulso de umidade, direcionando a precipitação para a transpiração da vegetação e, ou, evaporação do solo. Principalmente em Terras Secas pequenos eventos de precipitação umedecem apenas a camada mais superficial do solo, e grande parte dessa umidade do solo é perdida por evaporação direta (SCHWINNING; SALA, 2004). A porosidade e a distribuição do diâmetro dos poros condicionam a resposta físico-hídrica de um solo (HILLEL, 2004). Sendo que os macroporos têm função de aeração e o direcionamento da solução do solo durante o processo de infiltração e drenagem (KOOREVAAR, 1983).

Nos processos de formação do solo, o caminho da água no sistema influencia a velocidade dos processos, bem como atua como principal agente no intemperismo químico de rochas e transformação dos minerais (JENNY, 2005). A umidade do solo afeta a atividade biológica e condiciona a distribuição dos organismos no ecossistema (ODUM, 1988).

O movimento da água, no solo e nas plantas ocorre em resposta aos diferentes níveis de energia, movendo-se do maior para o menor potencial hídrico. Para atender a evapotranspiração do sistema solo-planta é necessária grande quantidade de água. (BRADY; WEIL, 2017).

O regime hídrico do sistema solo-água é caracterizado pelo efeito dos fluxos (infiltração, redistribuição, drenagem, evaporação, absorção e transpiração de água pelas plantas) com mudanças nas reservas de umidade do solo. Nesse contexto, o regime hídrico do solo é o resultado da relação dos incrementos temporários das perdas, retenção e movimento da água no solo (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2017).

Para compreender e auxiliar o monitoramento dos atributos físicos, químicos, biológicos e mineralógicos é necessário a determinação da quantidade de água no solo (HILLEL, 2004). A umidade do solo é determinada por métodos diretos e indiretos (TOPP, 2002). O método direto mais comum para determinação de água no solo é o gravimétrico. Nos métodos indiretos destacam-se a moderação de nêutrons, a resistência do solo à passagem de corrente elétrica, a constante dielétrica do solo e a tensão da água no solo (HILLEL, 2004), essas medidas variam com a umidade. Libardi (2012) destacou que a curva de retenção de água no solo é um importante parâmetro na caracterização das propriedades hidráulicas do solo, refletindo no meio de produção agrícola e diversas potencialidades dos ecossistemas.

O regime hídrico pode ser determinado quantitativamente pelo balanço hídrico do solo, fundamentado pela lei da conservação da massa, compreendendo mudanças da matéria de um estado/local para outro (HILLEL, 2004) e estimando a quantidade disponível de água no solo para a lixiviação e/ ou evapotranspiração (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2017). As classes do regime hídrico são descritas de acordo com a altura do lençol freático, ou do conteúdo de água retido, na seção de controle de umidade a tensões menores que 1500 kPa durante certo período do ano. A seção de controle de umidade é referente à profundidade de estudo no perfil do solo, desde a superfície até os mais profundos horizontes, variando em função dos solos. Essa sessão facilita a avaliação dos regimes de umidade do solo a partir de dados climáticos, sendo influenciado pela classe e tamanho das partículas do solo, assim como pela diferença na estrutura do solo e na distribuição do tamanho dos poros (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2017).

Os regimes hídricos são usados como atributo diagnóstico (subordem) pelo sistema de classificação de solos americano (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2017). Tais regimes podem ser áquico, údico, árido, ústico, xérico. As possíveis classes encontradas no semiárido paraibano são arídico e ústico, assim caracterizados: a) arídico, durante a maioria dos anos, a seção de controle do perfil de solo é seca cumulativamente mais da metade do tempo, quando a temperatura do solo é $\geq 5^{\circ}\text{C}$ na profundidade de 50 cm. Neste regime pode haver ausência de umidade por 90 dias contínuos quando a temperatura do solo é $\geq 8^{\circ}\text{C}$ na profundidade de 50 cm. b) ústico, é representado por ser intermediária entre os regimes hídricos árido e údico, ou seja, o solo permanece sem água disponível menos do que 90 dias e mais do que 90 dias cumulativos no ano.

A temperatura do solo é medida em diversas profundidades por estações meteorológicas, entretanto os resultados são pouco utilizados para a produção agrícola, pois pesquisadores acreditam que a temperatura não é limitante. Contudo, sabemos que é parâmetro

essencial e fator decisivo para a determinação da taxa e direção dos processos físicos existentes no solo, como as trocas de energia e matéria no solo e deste com a atmosfera (HILLEL, 2004). A temperatura varia no tempo e no espaço em função das propriedades térmicas e das condições meteorológicas, ou seja, apresenta variações no espaço e no tempo entre horizontes, bem como com os horários do dia e com as estações do ano.

A nebulosidade interfere na incidência de radiação solar na superfície do solo e o teor de umidade nas propriedades térmicas, logo, a variabilidade diária das temperaturas do solo tende a reduzir com a ocorrência de chuvas (DINIZ et al., 2013). O regime térmico do solo é condicionado pelo regime meteorológico que atua na interface solo-atmosfera (HILLEL, 2004) com importante influência dos atributos biológicos, químicos e físicos do solo (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2017).

A textura do solo contribui na capacidade de fornecimento de nutrientes, assim como na retenção e condução de água e ar, quanto mais fina a textura do solo maior é superfície efetiva exposta por suas partículas, logo tende a receber mais calor do que a textura mais grossa, dessa forma a temperatura do solo contribuirá na energia cinética das moléculas de água e resulta no direcionamento da dispersão (WEIL; BRADY, 2017). Segundo HILLEL (2004), as mudanças de temperatura podem causar alterações no volume e movimentação da água no solo. Quanto maior a temperatura menor o volume de água no solo.

Os minerais formados sob temperaturas mais elevadas são menos resistentes ao intemperismo no que se refere aos minerais formados sob temperaturas mais baixas, ou seja, as altas temperaturas promovem reações de intemperismo mais rápidas. O desempenho das estruturas mineralógicas, físico-químico e permeabilidade de um sistema argilo-mineral podem ser alterados devido ao aquecimento do solo a altas temperaturas.

A flutuação da temperatura do ar próximo à superfície interfere diretamente na temperatura dos horizontes do solo, até uma profundidade de 50 cm (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2017). As flutuações diárias na temperatura do solo podem ser influenciadas pela vegetação, exposição à radiação solar, cor do solo, assim como também umidade e circulação do ar. As altas temperaturas resultam elevação das taxas dos processos químicos, bioquímicos, velocidade das reações de natureza biológica (BAYER; MIELNICZUK, 1999). A matéria orgânica colore o solo em tons escuros de cinza, marrom e preto, essas cores tendem absorver mais energia do sistema solar, logo tem relação direta com a temperatura do solo. Quanto mais escuro for à cor do solo, maior será a sua temperatura.

Segundo Ochsner et al. (2007), em estudo com diferentes níveis de cobertura do dossel, observou que armazenamento de calor no solo aumentou à medida que a cobertura do solo

diminuiu. Segundo Weil e Brady (2017) os solos desnudos se aquecem e se esfriam mais rapidamente do que aqueles cobertos por vegetação. A matéria orgânica exposta no solo exerce desempenhos como a redução da perda de água por evaporação, flutuação da temperatura na superfície do solo, excesso de luz (TAPIA-CORAL et al 2005).

O regime térmico do solo pode ser estimado pelo curso anual da temperatura no solo (WEIL; BRADY, 2017), que por sua vez pode ser medida através do termômetro de radiação infravermelha, sendo um monitoramento de precisão (HILLEL, 2004). Conforme o Soil Survey Division Staff (2017), os solos são classificados em função das médias anuais de temperatura do solo são pergélico, cryico, frígido, méxico, térmico, hipertérmico, isofrígido, isomésico, isotérmico e isohipertérmico. Considerando o clima seco, temperaturas elevadas, precipitação pluvial concentrada em poucos meses do ano e a alta taxa de evapotranspiração, no Semiárido paraibano podem ser encontrados os seguintes regimes, a) térmico, onde a temperatura média anual do solo é de 15°C ou mais, e inferior a 22°C. b) hipertérmico, temperatura média anual do solo é igual ou maior que 22°C. Nos regimes térmico e hipertérmico a diferença entre a média da temperatura do solo no verão e no inverno é $> 5^{\circ}\text{C}$ a uma profundidade de 50cm ou até um contato lítico ou paralítico.

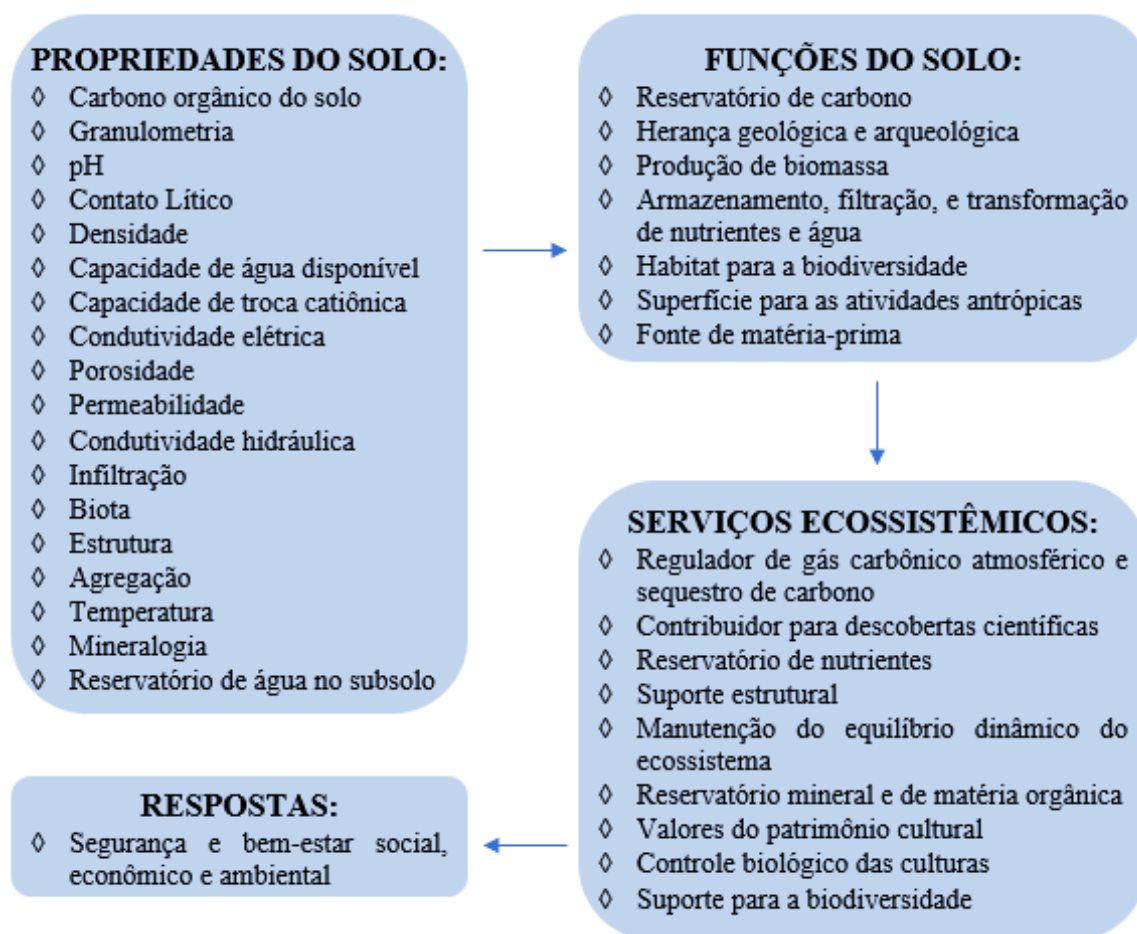
2.5 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DO SOLO

Os serviços ecossistêmicos do solo estão interligados com o capital natural e bem-estar humano. Adhikari & Hartemink (2016) fizeram uma revisão sobre solos e serviços ecossistêmicos com pesquisas desenvolvidas nos últimos anos e perceberam que o foco principal dos pesquisadores foi nas alterações climáticas, sequestro de carbono e a gestão da água, sendo a maioria das pesquisas realizadas na Europa.

A qualidade do solo refere-se ao grau de adequação de um solo a um uso específico, equivalendo à capacidade de servir uma função específica (GREGORICH, 2002). Os serviços ecossistêmicos do solo proporcionam benefícios ao meio ambiente, aos homens e a economia (Figura 4).

Bastin et al. (2017) desenvolveram uma pesquisa que resultou na delimitação da extensão de cobertura de árvores e florestas em terras secas, em nível global. Essa pesquisa pode levar ao desenvolvimento da conservação e inovação das ações de restauração em biomas do semiárido com o intuito de apoiar a permanência da biodiversidade e serviços ecossistêmicos.

Figura 4. Diagrama conceitual ligando as principais propriedades do solo aos serviços ecossistêmicos através das funções do solo.



Fonte: Adaptado de Adhikari & Hartemink, 2016.

Por exibir alta variabilidade e diversidade de solos, a região semiárida da Paraíba exerce importantes funções ambientais e desempenha vários serviços ecossistêmicos. Os Neossolos Litólicos em geral, caracterizados pela profundidade efetiva limitada, são importantes na área agrônômica, geotécnica e ambiental (OLIVEIRA, 2001), pois transfere às camadas saprolíticas importante função na sustentação de atividades humanas. Nos Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos, a camada saprolítica assume considerável importância ambiental, pois altera o crescimento e desenvolvimento da vegetação e os fluxos hídricos no perfil (STOLT; BAKER, 1994; PEDRON et al, 2009).

Nos serviços mantenedores da vida, o solo sustenta a produção de biomassa, esta produção é determinada pela combinação da umidade disponível para as plantas junto à capacidade do solo em fornecer-lhes nutrientes (OLFF et al., 2002). Esses nutrientes se

encontram na solução do solo (WHITE; BROWN, 2010), sendo importante a regulação da água no sistema, condicionada pelo fator clima.

Nas propriedades químicas tamponantes do solo, o equilíbrio químico ocorre em função dos sítios quimicamente ativos das superfícies dos colóides reagindo com espécies químicas na solução do solo (VOLKWEISS, 1989). O tamponamento em processos físicos do solo está relacionado à variação da temperatura e o fluxo de água, onde o calor específico do solo completamente seco aumenta com o aumento da densidade do solo, e quanto maior a quantidade de água no solo, maior o calor específico do solo (AZEVEDO et al., 2007).

O solo também funciona como regulador do abastecimento de água. Quando a água infiltra no solo, parte dela pode se armazenar e é usada pelas plantas, outra parte pode chegar ao escoamento superficial. Ainda pode capturar potenciais contaminantes, bem como atuar nos ciclos geoquímicos por meio de adsorção de consideráveis quantidades de resíduos orgânicos, indesejáveis e/ou benéficas ao solo, transformando-os em húmus do solo (WEIL; BRADY, 2017).

Os solos exercem um importante serviço ecossistêmico no ciclo global do carbono, depois da litosfera e dos oceanos, sendo o terceiro maior reservatório de carbono, representando aproximadamente 2400 Pg de carbono estocado (KIRSCHBAUM, 2000).

Os solos da Caatinga desempenham a função no estoque de carbono devido à sua extensão espacial, com cerca de 700.000 km² armazenando cerca de 1,4 Pg C. O armazenamento e o sequestro de carbono em florestas secas de Caatinga são fundamentais para a resiliência do ecossistema e a fertilidade do solo (SCHULZ, 2016). E está relacionado à textura do solo e a disponibilidade de água. Sparling et al. (2006) avaliou os serviços de regulação (sequestro de carbono) gerado pela recuperação de matéria orgânica do solo na Nova Zelândia.

O solo atua também como habitat para organismos da mais complexa diversidade genética. Por exemplo, os poros do solo quando saturados podem abrigar nematóides, diatomáceas e rotíferos, ou ainda, servir de habitat para insetos e ácaros quando preenchidos por ar úmido (WEIL; BRADY, 2017). Por fim, o solo pode desempenhar funções técnicas e culturais, abrangendo a geotecnia, fonte de material bruto, além de fonte como evidência forense e meio de preservação histórica (AZEVEDO et al., 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

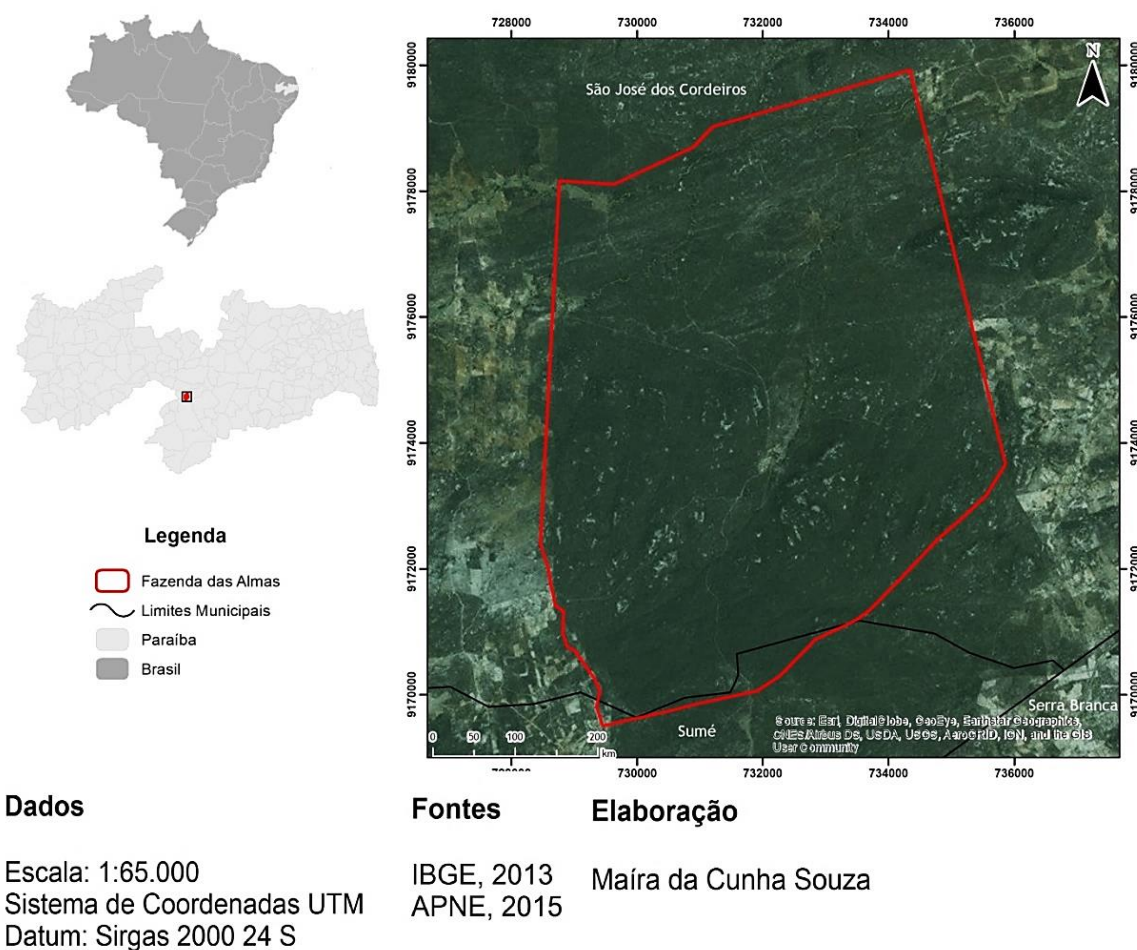
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A pesquisa foi desenvolvida em uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN). A escolha pela área de reserva, foi por perceber oportunidades para potencializar e dar segurança em resultados representativos e particulares do bioma Caatinga, sem ou com pouca intervenção antrópica, sob condições naturais ou condições próximas a essas. A RPPN é bastante estudada, tem proporcionado trabalhos de pesquisa e de extensão acadêmica, com desenvolvimento a níveis de graduação e pós-graduação nos mais diversos ecossistemas do bioma Caatinga, possibilitando informações multi e interdisciplinares.

A RPPN-Fazenda Almas, tem uma área de 5.502,92 ha, localizada na mesorregião da Borborema, microrregião do Cariri Ocidental, nas coordenadas geográficas 7°28'16" Sul e 36°53'54" Oeste, entre os municípios de Sumé e São José dos Cordeiros, Estado da Paraíba (Figura 5).

A geologia é composta por rochas do embasamento cristalino do Pré-Cambriano, com predomínio de granitos e gnaisses (SANTOS et al., 2002). As feições geomorfológicas são superfícies de pediplanação, maciços residuais e vales. O relevo ondulado à forte ondulado, com ocorrência de áreas com relevo montanhoso (serras).

Figura 5 - Localização da área. Mapa do Brasil, estado da Paraíba e RPPN Fazenda Almas.



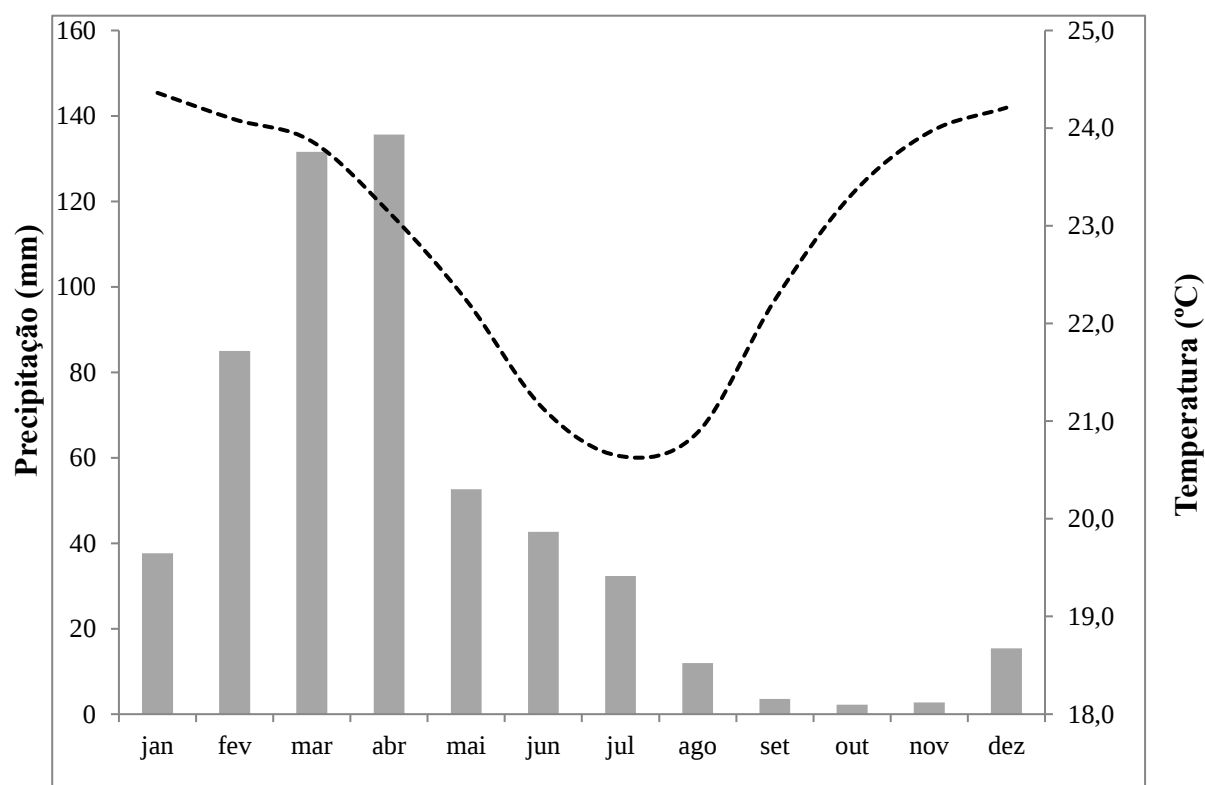
O clima na RPPN pela classificação de Köppen é BSh (Seco semiárido de altitude e latitude baixa, com precipitação pluvial média anual de 553 mm, concentrados nos meses de fevereiro a abril (Figura 6).

A temperatura média anual é de 24°C (média da mínima de 17 e média da máxima de 30°C) e a altitude é de 588 m (ALVAREZ et al., 2013).

A vegetação é a Savana-Estépica (Caatinga hiperxerófila ou Caatinga do Sertão Árido Nordestino), composta por espécies florísticas endêmicas, sendo elas: *Spondias tuberosa*, *Hippeastrum stylosum*, *Marsdenia megalantha*, *Mateleia endressiae*, *Stilpnopappus pratensis*, *Tournefortia andrade-limae*, *Varronia dardani*, *Varronia leucocephala*, *Bromelia laciniosa*, *Neoglaziovia variegata*, *Cereus jamacaru*, *Harrisia adscendens*, *Combretum monetaria*, *Tradescantia ambigua*, *Ipomoea brasiliana*, *Ipomoea marcellia*, *Apodanthera congestiflora*, *Erythroxylum revolutum*, *Croton adenocalyx*, *Croton blanchetianu*, *Croton echiodides*, *Ditaxis*

malpighiácea, *Euphorbia chamaeclada*, *Euphorbia phosphorea*, *Jatropha molíssima*, *Manihot dichotoma*, *Sebastiania macrocarpa*, *Chloroleucon dumosum*, *Crotalaria holosericea*, *Dioclea grandiflora*, *Libidibia ferrea*, *Libidibia férrea*, *Luetzelburgia auriculata*, *Mimosa borboremae*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Mimosa paraibana*, *Piptadenia stipulacea*, *Poincianella gardneriana*, *Senna martiana*, *Heteropterys trichanthera*, *Janusia schwannioides*, *Ceiba glaziovii*, *Pseudobombax marginatum*, *Sida galheirensis*, *Alvimiantha tricamerata*, *Rhamnidium molle*, *Ziziphus cotinifolia*, *Ziziphus joazeiro*, *Guettarda angelica*, *Cardiospermum oliveirae*, *Solanum jabrense*.

Figura 6 - Precipitação pluvial e temperatura média anual de São José dos Cordeiros - PB.



Fonte: Alvares et al., 2013.

As espécies florísticas endêmicas predominantes na área da pesquisa são: Macambira (*Bromelia laciniosa*), Mandacaru (*Cereus jamacaru*), Xiquexique (*Pilosocereus gounellei*), Marmeleiro (*Croton echiodides*), Barriguda (*Ceiba glaziovii*), Jurema (*Mimosa paraibana*), Catingueira (*Poincianella gardneriana*), Joazeiro (*Alvimiantha tricamerata*) e Umbú (*Spondias tuberosa*).

As espécies endêmicas da fauna, são elas: Perereca-De-Capacete (*Corythomantis greeningi*), Lagarto-de-parede (*Tropidurus semitaeniatus*), Bibrinha-da-Caatinga

(*Lygodactylus klugei*), Lagartixa (*Phyllopezus periosus*), Timbú (*Mabuya agmosticha*), Cobra-de-duas-cabeças (*Amphisbaena lumbricalis*), Jararaca-da-seca (*Bothropoides erythromelas*) e Cobra-de-cipó (*Thamnodynastes sertanejo*).

Os solos que ocorrem na RPPN são Neossolos Litólicos e Regolíticos, Luvisolos Crômicos e Planossolos (PMFA, 2015). O sistema pedológico estudado é formado pela sequência Neossolo Litólico-Neossolo Regolítico, representam as classes de solos que ocupam mais da metade do Semiárido paraibano.

3.2 GEOMORFOLOGIA E SISTEMA PEDOLÓGICO

A compartimentação geomorfológica foi realizada a partir de imagens de satélite obtida a partir do *Google Earth Pro* do ano de 2016 e por meio de imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), gerando posteriormente o modelo digital de elevação (MDE – Figura 4), resolução espacial de 1 arco-segundo (aproximadamente 30 m). A área foi selecionada com base nas informações obtidas da análise destas imagens e do mapa de solos da RPPN Fazenda Almas (PMFA, 2015).

A partir de observações em campo o relevo da topossequência foi classificado conforme a classificação descrita em Schoeneberger et al. (2012). Por meio de avaliações visuais de um grupo de quatro pessoas foi selecionada uma topossequência com um sistema pedológico formado por Neossolos.

3.3 ANÁLISES DE CAMPO

A descrição e coleta de amostras (deformadas e indeformadas) dos solos foram realizadas em topossequência, com a finalidade de compreender as progressivas variações verticais e laterais dos solos em função da topografia (RUELLAN; DOSSO, 1993). As descrições dos solos e das feições geomórficas foram realizadas em tradagens e trincheiras, de acordo com Santos et al. (2015) e Schoeneberger et al. (2011). Foram abertas três trincheiras em cada posição representando sequências pedogeomorfológicas (topossequência).

Os solos foram classificados até o 4º nível categórico, pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos 5ª edição (EMBRAPA, 2018) e no *Keys to Soil Taxonomy*, até o 2º nível categórico (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2014).

Foram coletadas amostras deformadas nos respectivos horizontes de cada classe e foram triplicadas em laboratório.

3.4 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS

3.4.1 Atributos químicos

As análises químicas de rotina para fins de caracterização e classificação do solo foram pH em água, acidez potencial (H+Al) extraída por solução de acetato de cálcio a pH 7,0 e determinada por titulometria. O Al, Ca e Mg trocáveis foram extraídos com KCl 1M, o Al determinado por titulometria e Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica (EAA). O K e Na trocáveis foram extraídos por solução Mehlich-1, o P determinado por determinada por colorimetria; K e Na por fotometria de chama, de acordo com os procedimentos descritos em Teixeira et al., (2017). A partir dos resultados foram calculados a soma de bases (S), saturação por bases (V%) e a capacidade de troca de cátions (CTC),

A matéria orgânica do solo e o carbono inorgânico do solo foram determinados seguindo metodologia proposta por Wang et al. (2011). O Carbono orgânico total do solo foi determinado pelo método de Yeomans e Bremner (1988).

3.4.2. Atributos físicos

3.4.2.1. Granulometria

A análise granulométrica foi realizada por meio da dispersão mecânica e estabilização da amostra por meio de agitador em uma solução dispersante adequada, usando hidróxido de sódio (NaOH), seguida da separação das frações por peneiramento e sedimentação. Medição das frações separadas por meio de pesagem após secagem em estufa. Nesta análise foi determinada a fração areia, silte e argila total. A argila dispersa em água foi determinada de forma semelhante, mas sem o uso do dispersante químico (dispersa apenas com água destilada). A partir desses dados foi calculado o grau de floculação dos solos descrito em Teixeira et al. (2017).

3.4.2.2. Densidade, porosidade e condutividade hidráulica

A densidade do solo foi determinada a partir da relação entre massa do solo seco a 105°C e o volume do anel (GROSSMAN; REINSCH, 2002), segundo a expressão abaixo:

$$\rho = M_{ss} / V_t$$

Onde: M_{ss} = massa de solo seco; V_t = Volume total do anel.

Macroporosidade, microporosidade e porosidade total, foram determinadas de acordo com Flint e Flint (2002).

A condutividade hidráulica saturada de cada solo foi determinada nas amostras indeformadas de solo, por meio de permeâmetro de carga constante (TEIXEIRA et al., 2017). As amostras foram saturadas em água por 24 horas, e em seguida transferidas para o permeâmetro onde foi aplicada uma carga hidráulica constante de 2 cm. O volume de água foi monitorado a cada minuto, com 5 repetições.

A condutividade hidráulica saturada foi calculada a partir da expressão seguinte:

$$K = (QxL)/[Ax(L+h)]$$

Onde: K é a condutividade hidráulica saturada (cmh⁻¹); Q é o volume do percolado (ml); L corresponde à altura do bloco do solo (cm); H é a altura do bloco do solo e da coluna (cm); A é, a área do cilindro (cm²), e; t , o tempo (h).

3.4.2.3. Curva de retenção de água no solo

A curva de retenção de água no solo, foi elaborada a partir dos valores de umidade volumétrica em diferentes tensões (amostras indeformadas) determinados tanto na mesa de tensão (-2 e -6 kPa) e no extrator de Richards (-10; -33; -100; -300; -500, -1000 e -1500 kPa) de acordo com o método descrito em (Dane e Hopmans, (2002).

3.4.2.4. Monitoramento da umidade e temperatura do solo

Os potenciais de água e a temperatura nos solos em condições de campo (método indireto) foram mensurados, por meio de sensores MPS-2, *Decagon Devices*®, com capacidade de determinação de - 9 à - 500 kPa (precisão $\pm 25\%$) e temperaturas de - 40°C à 50°C (precisão $\pm 1^\circ\text{C}$), nos seguintes pontos dos horizontes na topossequência: Ombro: 10 cm de profundidade (horizonte A) e 30 cm de profundidade (horizonte Cr). Terço médio: 10 cm de profundidade (horizonte A), 30 cm de profundidade (horizonte C1) e 80 cm de profundidade (horizonte Cr). Terço inferior (Sopé coluvial): 10 cm de profundidade (horizonte A), 50 cm de profundidade (horizonte C1) e 90 cm de profundidade (horizonte Cr).

Os sensores foram conectados a *data loggers*, onde os dados foram armazenados a cada hora e a coleta dos dados foi realizada mensalmente, desde o mês de setembro 2017 até agosto de 2018.

As amostras para a avaliação da dinâmica de água no solo, foram coletadas mensalmente (de setembro de 2017 a agosto de 2018), às 06 horas da manhã, por meio de tradagens, rapidamente homogenizadas em frascos de vidro, revestidos com papel filme PVC (policloreto de polivinila) e em seguida armazenadas em caixa de isopor com gelo ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) até chegar ao laboratório.

Nestas amostras mensurou os potenciais hídricos mais negativos (de -100 a -300000 kPa) pelo método do psicrômetro onde as determinações foram realizadas em um aparelho modelo WP4-C, *Decagon Devices*®. O equipamento realizou leituras rápidas do potencial de água de amostras deformadas do solo, onde a umidade na câmara do aparelho equilibra-se com o potencial da água no solo, logo foi calculado com base na temperatura do solo e do ar, no ponto de orvalho (Andraski; Scanlon, 2012). Uma subamostra foi utilizada para a determinação da umidade gravimétrica (Topp, 2002) relativa ao potencial determinado pelo psicrômetro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

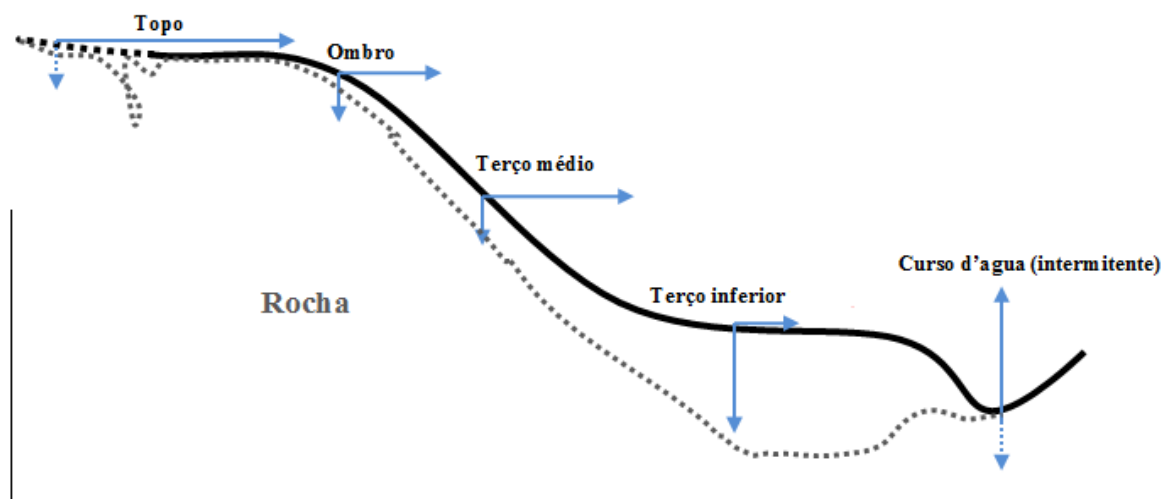
4.1 RELEVO E SISTEMA PEDOLÓGICO

4.1.1 Topossequência

As principais classes e formas do relevo na RPPN Fazenda Almas foram ondulado, forte ondulado e escarpado. A topossequência apresenta classe de relevo forte ondulado com topografia movimentada, com desníveis fortes (IBGE, 2017), onde a declividade é $> 45\%$ (Figura 7).

Os seguimentos (posições) da vertente são topo, ombro, terço médio e terço inferior (ou sopé coluvial) (Figura 7). O sistema pedológico é composto por Afloramento Rochoso no topo e uma sequência de Neossolos no ombro, terço médio e terço inferior (coluvial). Em várias topossequências do Cariri paraibano o padrão dos fluxos de água (retenção, infiltração e a drenagem) no sistema não ocorre. A ocorrência comum de afloramentos rochosos no topo da vertente favorece intensos fluxos horizontais de água nesta posição.

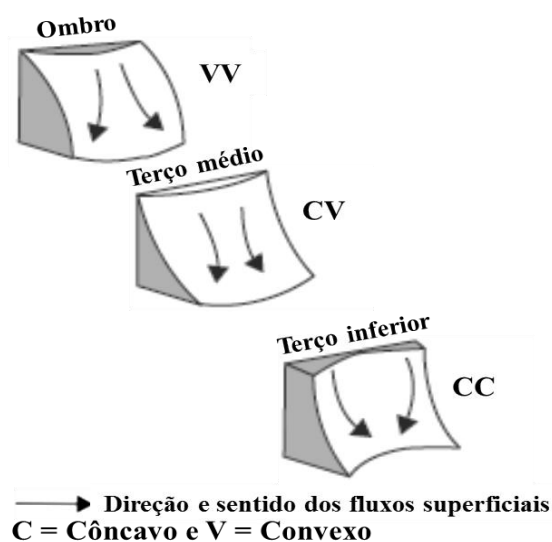
Figura 7. Topossequência, seguimentos da vertente e fluxos de água.



Fonte: gráfico produzido pela pesquisadora.

As formas do relevo e as linhas de fluxos superficiais de água no solo (Figura 8), conforme descrito em Schoeneberger et al. (2012), são convexo-convexo; côncavo-convexo e côncavo-côncavo.

Figura 8 - Formas do relevo e linhas de fluxos superficiais de água no solo na topossequência



Fonte: adaptado de Wysocki et al., 2000.

Na posição do ombro (Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário) a forma do relevo é VV (convexo-convexo), onde os fluxos em superfície promovem preferencialmente o escoamento superficial de água da topossequência nesta posição. No terço médio (Neossolo Regolítico Eutrófico léptico), o relevo é CV (côncavo-convexo) esta forma do relevo também promove a saída de água da topossequência, mas em menor intensidade em relação à posição a jusante (ombro). No final da topossequência, no terço inferior (Neossolo Regolítico Eutrófico típico), o relevo é CC (côncavo-côncavo), favorecendo os fluxos que levam a maior infiltração de água nesta posição da vertente.

4.2 SOLOS

4.2.1 Classificação

Os solos do sistema pedológico foram classificados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2018) e pelo *Soil Taxonomy* (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 2017) (Tabela 1). Os principais atributos diagnósticos utilizados para a classificação dos solos foram os morfológicos, físicos e químicos (profundidade do contato lítico, saturação do complexo de troca por cátions básicos e a classe textural).

O Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (Tabela 1) ocorre no ombro da vertente, apresenta contato lítico a uma profundidade menor que 50 cm (40 a 48 cm) (Tabela 3). A rocha (contato lítico fragmentário) é bastante fraturada, permitindo a penetração e crescimento de raízes e a circulação da água (EMBRAPA, 2013). Tem saturação do complexo de troca por cátions básicos de 86% no horizonte A e 76% no horizonte Cr (Tabela 2).

Tabela 1. Posição na vertente e classificação dos solos no SiBCS e no *Soil Taxonomy*

Posição	SiBCS	Soil taxonomy
Ombro	Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário	<i>Lithic Torriorthents</i>
Terço Médio	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico	<i>Typic Torriorthents</i>
Terço Inferior	Neossolo Regolítico Psamítico típico	<i>Typic Torripsamments</i>

Fonte: tabela adaptada do SiBCS.

Os atributos do Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (Tabela 1) ocorrem no terço médio da vertente. Apresentando contato lítico a uma profundidade (Tabela 3) acima de 110 cm. Tem alta saturação por bases 85% no horizonte A, 76% no horizonte C1 e 80% no horizonte Cr (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos químicos de neossolos em topossequência no Cariri paraibano¹

Horiz.	pH	COT	MOS	CIS	EC	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V
	água	g/kg			Mg/ha	cmolc/kg							%
Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (<i>Lithic Torriorthents</i>) - Ombro													
A	6,9	9,60	39,5	5,01	32,96	0,55	0,1	2,67	0,56	0,66	3,88	4,53	86
Cr	7,0	3,36	16,6	5,8	64,18	0,13	0,16	1,26	0,36	0,60	1,91	2,51	76
R	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	**
Total	***	***	***	***	97,14	***	***	***	***	***	***	***	**
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (<i>Typic Torriorthents</i>) - Terço médio													
A	6,8	14,5	34,8	4,14	26,21	0,45	0,08	2,38	0,38	0,57	3,29	3,86	85
C1	6,5	1,92	11,2	3,91	48,73	0,21	0,09	0,86	0,19	0,43	1,35	1,78	76
Cr	6,6	0,23	9,67	5,24	92,19	0,11	0,12	1,00	0,14	0,35	1,37	1,72	80

¹ Legenda: Horiz. - Horizontes; pH - potencial Hidrogeniônico; COT - Carbono orgânico total; MOS - Matéria orgânica do solo/carbono orgânico; CIS - Carbono inorgânico do solo; (H+Al) - acidez potencial; SB - soma de bases; CTC - capacidade de troca catiônica; V - saturação de bases.

R	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Total	***	***	***	***	167,14	***	***	***	***	***	***	***	***
Neossolo Regolítico Psamítico típico (<i>Typic Torripsamments</i>) - Terço inferior													
A	6,7	6,96	21,6	1,5	20,25	0,19	0,07	1,87	0,28	0,39	2,40	2,80	86
C1	6,1	0,48	7,16	1,29	22,10	0,15	0,06	0,38	0,04	0,31	0,63	0,94	67
C2	6,1	0,48	4,97	1,46	39,12	0,08	0,08	0,30	0,15	0,37	0,62	0,99	62
Total	***	***	***	***	81,48	***	***	***	***	***	***	***	***

Fonte: tabela produzida pela pesquisadora.

O Neossolo Regolítico Psamítico típico (Tabela 1) não apresenta horizonte B. Tem saturação do complexo de troca por cátions básicos de 86% no horizonte A e 67% no horizonte C1 e 62% no horizonte C2 (Tabela 2). Tem predomínio da textura arenosa (areia franca) dentro de 130 cm a partir da superfície do solo e ausência de saprolito dentro de 50 cm a partir da sua superfície (Tabela 3).

Tabela 3. Análise granulométrica de Neossolos em topossequência no Cariri Paraibano²

Horizontes	Profundidade cm	Areia	Silte	Argila	ADA	GF %	Classe textural
Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (<i>Lithic Torriorthents</i>) - Ombro							
A	0 - 16	725,2	214,8	60,0	35,1	41	Franco Arenosa
Cr	16 - 48	709,4	190,6	100,0	52,2	48	Franco Arenosa
R	48 ⁺	***	***	***	***	***	***
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (<i>Typic Torriorthents</i>) – Terço médio							
A	0 - 10	731,2	228,8	40,0	23,4	41	Franco Arenosa
C1	10 - 55	739,6	180,4	80,0	34,3	57	Franco Arenosa
Cr	55 - 110	707,0	193	100,0	48,7	51	Franco Arenosa
R	110 ⁺	***	***	***	***	***	***
Neossolo Regolítico Psamítico típico (<i>Typic Torripsamments</i>) - Terço inferior							
A	0 - 18	858,4	121,6	20,0	0,9	95	Areia Franca
C1	18 - 80	828,4	151,6	20,0	16,0	20	Areia Franca
C2	80 - 130 ⁺	827,6	152,4	20,0	2,8	86	Areia Franca

Fonte: tabela produzida pela pesquisadora.

² Legenda: ADA - Argila dispersa em água; GF - Grau de floculação.

O Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário e o Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, são da classe textural franco arenosa em todos os horizontes. Enquanto o Neossolo Regolítico Psamítico típico apresentou classificação textural areia Franca nos seus respectivos horizontes (Tabela 3). Isso pode ser explicado pelo maior conteúdo de argila nas posições superiores da topossequência (ombro e terço médio) quando comparado ao terço inferior que está mais próximo ao colúvio.

O Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário e o Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (Tabela 3), apresentaram argila em maior quantidade nos horizontes subsuperficiais, seguindo a mesma tendência para a argila dispersa em água e para o grau de flocculação.

No Neossolo Regolítico Psamítico típico (Tabela 3), os horizontes apresentaram os mesmos resultados de argila, sendo argila dispersa em água em menor quantidade no horizonte A e maior quantidade no horizonte C1 e no horizonte C2. O grau de flocculação foi maior no horizonte A e menor nos horizontes subsuperficiais.

4.2.2 Morfologia

O Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário apresenta maior variabilidade lateral e vertical, é um solo raso e que apresenta sequência de horizontes A e Cr com estrutura moderadamente desenvolvida no horizonte A muito grande de blocos subangulares. A estrutura do horizonte Cr é fraca, grande a muito grande de blocos subangulares (Tabela 4). É extremamente pedregoso na superfície; rochoso, com afloramentos rochosos e matacões; bem drenado; com erosão ligeira e laminar. De acordo com Bockheim (2015), em regiões semiáridas é comum a existência de solos associados à afloramentos rochosos e contato lítico abaixo de 50 cm, uma vez que a condição de formação destes solos não passa por intemperismo intenso.

No terço médio e inferior os solos apresentam menor variabilidade lateral e vertical e são profundos, conforme observado na tabela 5. A sequência de horizontes é A, C1 e Cr no Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, com estrutura moderadamente desenvolvida no horizonte A a muito grande de blocos subangulares. No horizonte C1, a estrutura é moderada e grandes a muito grandes de blocos subangulares. A estrutura no horizonte Cr é maciça, fraca e grande de blocos subangulares.

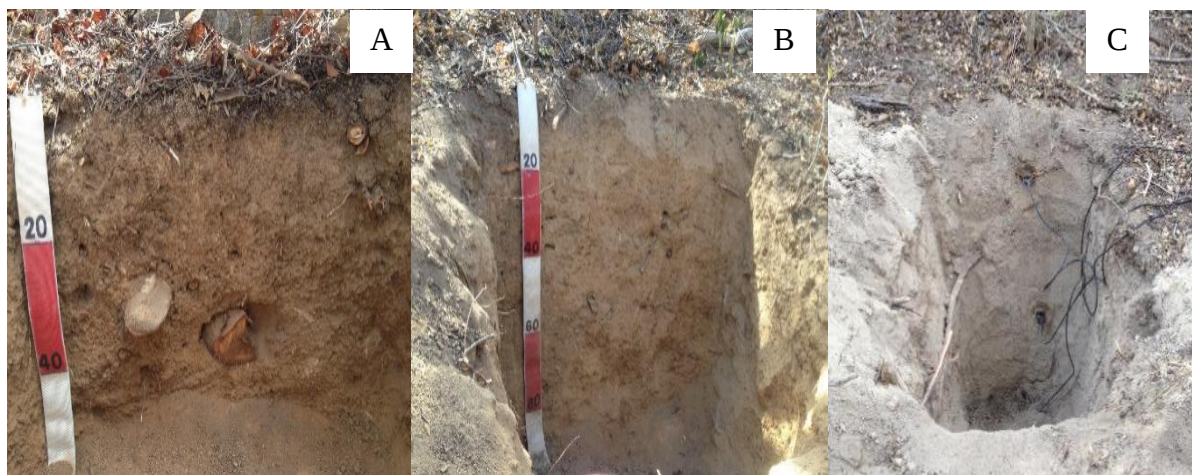
No Neossolo Regolítico Psamítico típico, a sequência de horizonte é A, C1 e C2 (Tabela 4). O horizonte A tem estrutura predominantemente fraca, mas apresenta também estrutura moderada, muito grande e granular; no horizonte C1 a estrutura é moderada, médio e grande de

blocos subangulares; no horizonte C2 a estrutura é moderada e muito grande blocos subangulares.

Com relação à estrutura dos Neossolos, resultados corroboram com Silva et al (2014) e Farias et al. (2016), que verificaram em perfis de Neossolos estruturas em blocos subangulares e granulares com desenvolvimento moderado e classe variando de médio e pequeno.

A diferenciação de classes de solo (Figura 9) na paisagem ocorre naturalmente em respostas das interações entre os diversos fatores de formação: material de origem, relevo, clima, organismos e tempo (RESENDE et al., 2014).

Figura 9. (A) Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (*Lithic Torriorthents*) - Ombro; (B) Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (*Typic Torriorthents*) – Terço médio; (C) Neossolo Regolítico Psamítico típico (*Typic Torripsamments*) - Terço inferior.



Fonte: fotografias produzidas pela pesquisadora.

Os solos evidenciam coloração variando entre o bruno, bruno-acinzentado e bruno-amarelado, com matiz de 10YR a 7,5YR com aumento no croma à medida que distancia do topo (Tabela 4). Porém, sem diferenças relevantes entre os perfis, conforme encontrados por Santos et al. (2012) em região semiárida no estado de Pernambuco.

Tabela 4. Atributos morfológicos dos Neossolos do Semiárido paraibano.³

Horizontes	Profundidade		Cor		Estrutura	Transição
	cm	Classe	seca	úmida		
Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (<i>Lithic Torriorthents</i>) – Ombro						
A	0 - 16	Raso	10 YR 5/3	10 YR 2/2	mod mg blsub	pl cl
Cr	16 - 48		10 YR 5/4	7,5YR 3/3,	fr g mg blsub	pl ab
R	48 ⁺		***	***	***	***
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (<i>Typic Torriorthents</i>) – Terço médio						
A	0 - 10	Profundo	10 YR 5/3	7,5 YR 3/3	mod mg blsub	pl cl
C1	10 - 55		10 YR 6/4	7,5 YR 4/4	mod g blsub	pl cl
Cr	55 - 110		7,5YR 5/6	7,5 YR 4/6	mç	***
R	110 ⁺		***	***	***	***
Neossolo Regolítico Psamítico típico (<i>Typic Torripsmammets</i>) – Terço inferior						
A	0 - 18	Profundo	10 YR 6/2	10 YR 2/2	fr mod mg gra	pl cl
C1	18 - 80		10 YR 7/2	10 YR 5/3	mod med g blsub	pl cl
C2	80 - 130 ⁺		10 YR 8/2	10 YR 7/3	mod mg blsub	***

Fonte: tabela produzida pela pesquisadora.

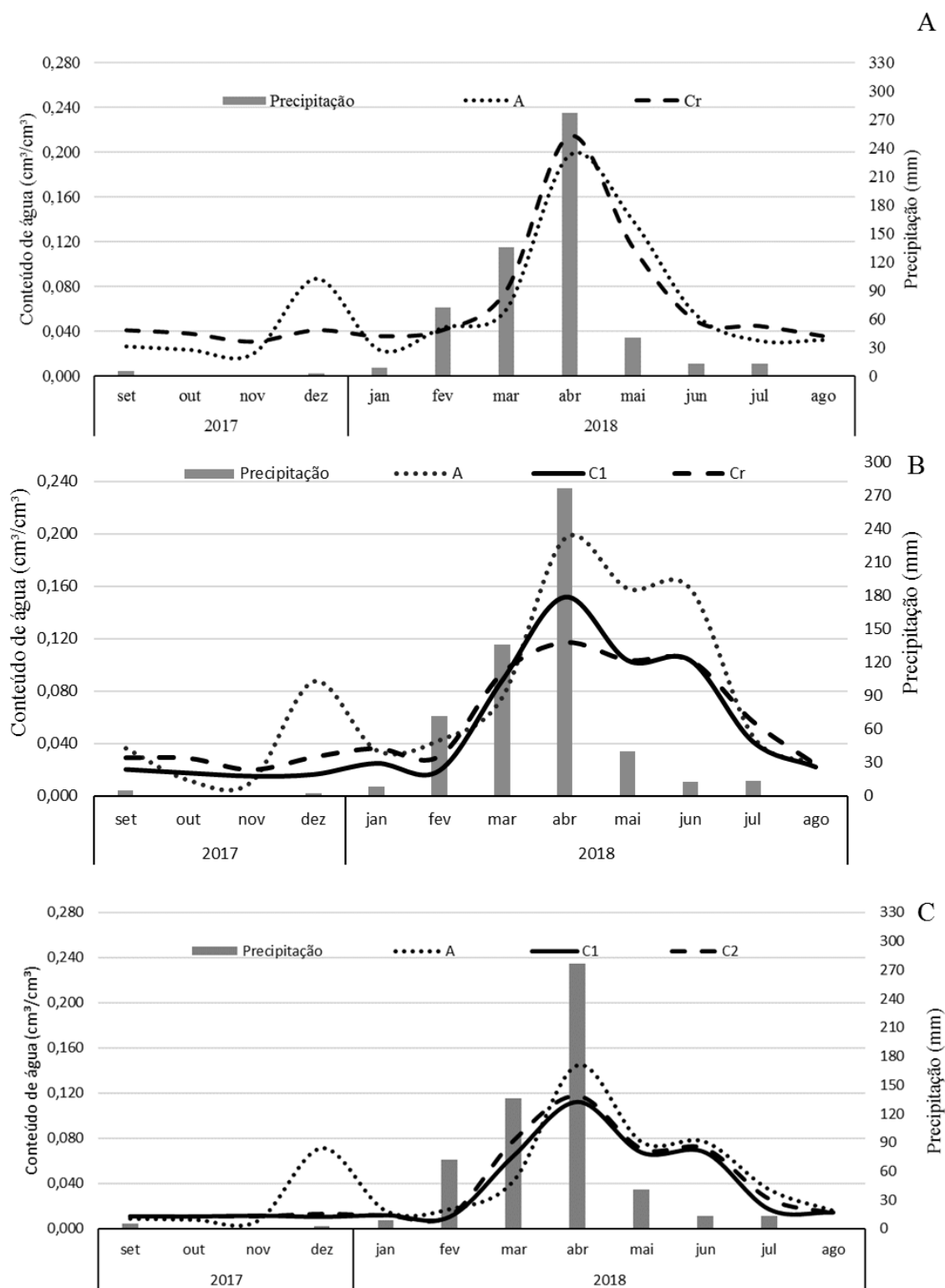
4.3 REGIME HÍDRICO E TÉRMICO DOS SOLOS

4.3.1 Umidade e temperatura dos solos

Segundo dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (2017-2018), não houve precipitação pluvial nos meses de outubro e novembro de 2017, justificando pouco conteúdo de água no solo, potenciais hídricos negativos e temperaturas elevadas no Cariri Ocidental, município de São José dos Cordeiros, onde está localizada na RPPN-Fazenda Almas (Figura 10).

³ Legenda: f - forte; mod - moderada; fr - fraca; mg - muito grande; g - grande; med - média; gra - granular; blsub - blocos subangulares; mç - maciça; pl - plana; cl - clara; ab - abrupta.

Figura 10. Dados de precipitação pluvial, temperatura (AESAs, 2018) e conteúdo de água. A= Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (*Lithic Torriorthents*); B = Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (*Typic Torriorthents*) e C = Neossolo Regolítico Psamítico típico (*Typic Torripsmamments*).



Fonte: gráfico produzido pela pesquisadora.

A retenção de água nos solos é baixa devido à textura arenosa, com baixa microporosidade e baixo teor de matéria orgânica. Embora os teores de matéria orgânica sejam próximos entre os solos estudados.

O Neossolo Litólico, retém mais água que os Neossolos Regolíticos, essa propriedade pode ser devido ao tipo de matéria orgânica e não apenas ao teor de matéria orgânica, justificado pela maior quantidade de argila, que favorece o solo com mais umidade, local de preferência para biota do solo. Um fato interessante observado nessa posição foi a forte presença de estruturas biológicas (coprólitos) do tipo grumosa na superfície, enquanto que nos outros solos essas estruturas ocorrem em menor quantidade.

O potencial hídrico e conteúdo de água dos solos durante os meses de setembro, outubro, novembro de 2017 (Tabela 5) foram baixos e a temperatura se manteve acima de 20°C. Os valores de potencial hídrico foram mais negativos no horizonte A durante todo o período. Mesmo os valores dos potenciais serem mais negativos que -1500 kPa, este baixo conteúdo de água participa de importantes processos biogeoquímicos no solo, como o intemperismo.

Os solos da topossequência, no período do dia 05 de setembro de 2017 a 10 de dezembro de 2017 se mantiveram secos (< -1500 kPa) por mais de 90 dias dentro da seção de controle e com temperatura acima de 20°C, caracterizando o regime hídrico como árido e térmico como hipertérmico (Soil Survey Division Staff, 2017).

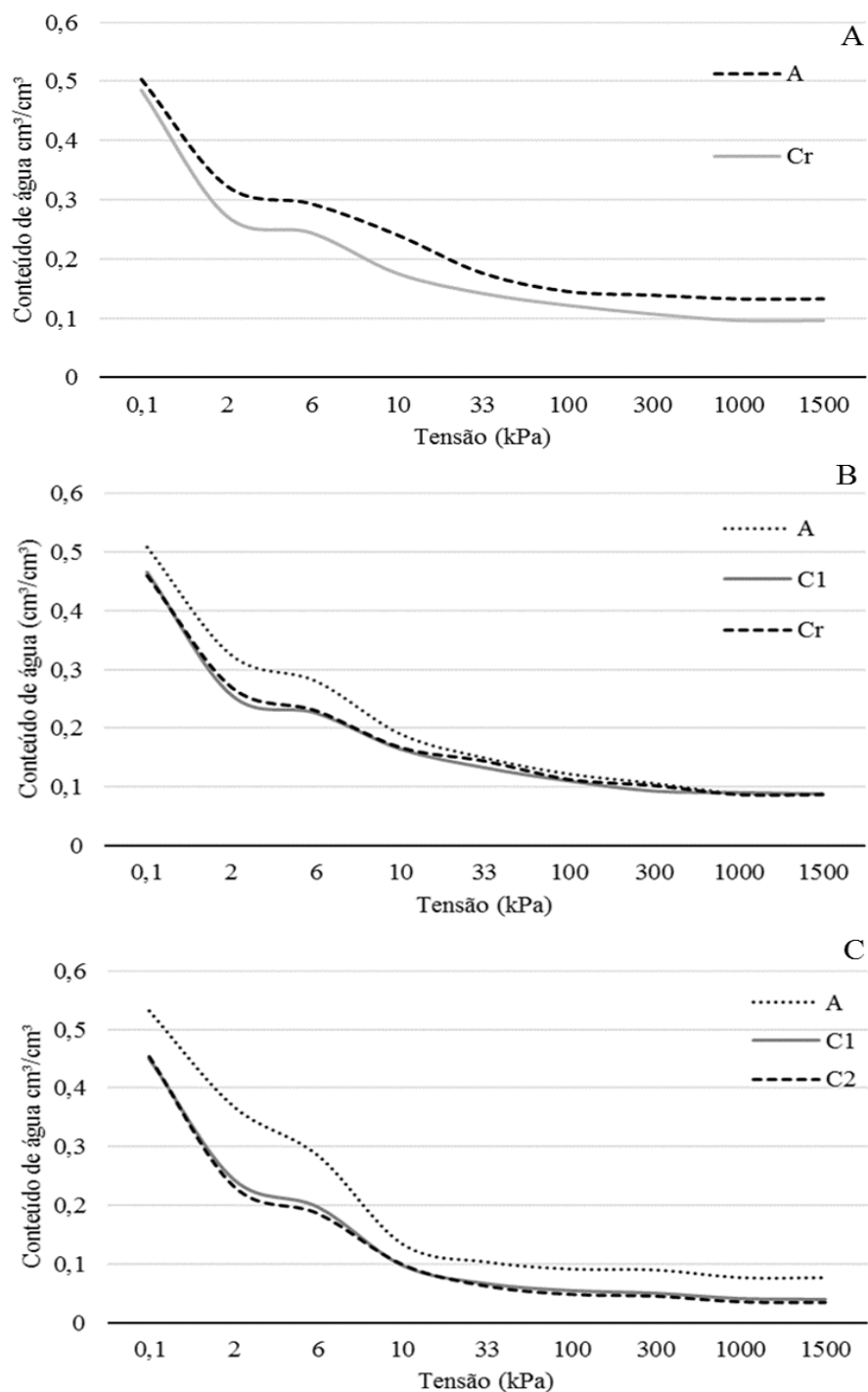
Nos horizontes A das classes de solos supracitados, observou maior retenção no conteúdo de água enquanto nos horizontes subsuperficiais expressaram menor retenção no conteúdo de água (figura 11). Nos potenciais mais elevados (20, 60 e 100 cm) verificou menor retenção, porém maior conteúdo de água. Nos potenciais mais baixos expressaram maior retenção e conteúdo de água e menor inclinação na curva.

Tabela 5. Potencial hídrico, termogravimetria e temperatura por horizontes de Neossolos em toposequência no Cariri paraibano.

Mês	Horizontes	Profundidade cm	Potencial Hídrico kPa	Termogravimetria g/g	Temperatura °C
SETEMBRO	Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (<i>Lithic Torriorthents</i>) - Ombro				
	A	0 - 16	-25610	0,018	23,6
	Cr	16 - 48	-8240	0,027	25,7
	R	48 ⁺	***	***	***
	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (<i>Typic Torriorthents</i>) - Terço médio				
	A	0 - 10	-11240	0,026	23,5
	C1	10 - 55	-9150	0,013	25,3
	Cr	55 - 110	-10110	0,019	25,3
	R	110 ⁺	***	***	***
	Neossolo Regolítico Psamítico típico (<i>Typic Torripsmammets</i>) - Terço inferior				
	A	0 - 18	-29660	0,007	21,9
	C1	18 - 80	-9840	0,007	25,4
OUTUBRO	Neossolo Litólico eutrófico fragmentário (<i>Lithic Torriorthents</i>) - Ombro				
	A	0 - 16	-52510	0,016	27,3
	Cr	16 - 48	-10030	0,026	29,2
	R	48 ⁺	***	***	***
	Neossolo Regolítico eutrófico léptico (<i>Typic Torriorthents</i>) - Terço médio				
	A	0 - 10	-60200	0,008	27,5
	C1	10 - 55	-17000	0,012	29
	Cr	55 - 110	-9450	0,019	28
	R	110 ⁺	***	***	***
	Neossolo Regolítico psamítico típico (<i>Typic Torripsmammets</i>) - Terço inferior				
	A	0 - 18	-48650	0,006	24,7
	C1	18 - 80	-8440	0,007	27,9
	C2	80 - 130 ⁺	-13600	0,007	27,5
NOVEMBRO	Neossolo Litólico eutrófico fragmentário (<i>Lithic Torriorthents</i>) - Ombro				
	A	0 - 16	-45780	0,014	28,9
	Cr	16 - 48	-12790	0,021	30,9
	R	48 ⁺	***	***	***
	Neossolo Regolítico eutrófico léptico (<i>Typic Torriorthents</i>) - Terço médio				
	A	0 - 10	-48490	0,007	28,9
	C1	10 - 55	-17020	0,010	30,4
	Cr	55 - 110	-10960	0,013	29,5
	R	110 ⁺	***	***	***
	Neossolo Regolítico psamítico típico (<i>Typic Torripsmammets</i>) - Terço inferior				
	A	0 - 18	-63330	0,005	27,3
	C1	18 - 80	-12420	0,007	28,6
	C2	80 - 130 ⁺	-10900	0,007	28,5

Fonte: tabela produzida pela pesquisadora.

Figura 11. Curvas características de retenção de água do A= Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (*Lithic Torriorthents*); B = Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (*Typic Torriorthents*) e C = Neossolo Regolítico Psamítico típico (*Typic Torripsmammets*).



Fonte: gráfico produzido pela pesquisadora.

A cobertura vegetal é responsável pelo aumento da macroporosidade da camada superficial, aumentando a condutividade hidráulica do solo. Os solos apresentaram alta condutividade hidráulica no horizonte A (Soil Survey Staff, 2012) reduzindo em profundidade (Tabela 6).

Nos resultados da condutividade hidráulica saturada, o Neossolo Litólico apresentou maiores valores quando comparado aos Neossolos Regolíticos. Observou-se que nos horizontes superficiais os valores de Ksat foram mais elevados e em subsuperfície os valores foram mais baixos para todos os perfis estudados.

Tabela 6. Análise dos atributos: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e condutividade hidráulica saturada dos neossolos do Cariri paraibano.⁴

Horizontes	Profundidade Cm	Ds g/cm ³	Dp g/cm ³	Pt cm ³ /cm ³	Ksat cm h ⁻¹
Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (<i>Lithic Torriorthents</i>) - Ombro					
A	0 – 16	1,41	2,51	0,50	19,54
Cr	16 – 48	1,46	2,47	0,48	6,69
R	48 ⁺	***	***	***	***
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (<i>Typic Torriorthents</i>) - Terço médio					
A	0 – 10	1,40	2,61	0,51	6,35
C1	10 – 55	1,52	2,68	0,47	1,74
Cr	55 – 110	1,53	2,81	0,46	2,11
R	110 ⁺	***	***	***	***
Neossolo Regolítico Psamítico típico (<i>Typic Torripsmammments</i>) - Terço inferior					
A	0 – 18	1,33	2,52	0,53	15,46
C1	18 – 80	1,56	2,66	0,45	3,47
C2	80 - 130 ⁺	1,55	2,65	0,45	3,49

Fonte: tabela produzida pela pesquisadora.

4.3.2 Análise de componentes principais

Na tabela 7 encontram-se correlações significativas ($P < 0,05$) entre os atributos físicos dos solos estudados. Ocorreram correlações fortes e positivas das diferentes tensões: T.20, T.60, T.100, T.330 T.1000, T.3000, T.10000, T.30000 com as variáveis COT, MOS, CIS, silte, argila, Pt e Pa.

⁴ Legenda: Ds - Densidade do solo; Dp - Densidade de partículas; Pt - Porosidade total; Ksat - Condutividade hidráulica saturada.

As maiores correlações positivas foram observadas entre as variáveis Carbono orgânica com matéria orgânica ($r = 0,92$) e tensão 20 ($r = 0,95$). Observou-se ainda forte correlação da matéria orgânica com a tensão 20 ($r = 0,95$), bem como porosidade total com a tensão 0,1 ($r = 0,98$).

As correlações entre COT, MOS e T20 podem ser explicadas em função do carbono ser um dos principais constituintes da matéria orgânica, correspondendo a cerca de 58 % de sua constituição. A matéria orgânica está relacionada com a retenção de água, principalmente em solos arenosos.

Minasny & McBratney (2018) salientam que o efeito da matéria orgânica sobre a retenção de água é mais pronunciado em solos arenosos, o aumento do carbono orgânico tem efeito no aumento da água de saturação, capacidade de campo é ponto de murcha permanente e água disponível, um aumento de 1 % na massa de carbono orgânico do solo, em média, aumentou a capacidade de água disponível em 1,16 %, volumetricamente.

Por outro lado, houve correlações negativas das diferentes tensões com a fração areia, Ds e Dp, justificado pela baixa retenção de água na fração areia e pela redução da porosidade total à medida que aumenta a Ds e a Dp.

Tabela 7. Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos físicos do solo nas áreas em estudo.⁵

	COT	MOS	CIS	AREIA	SILTE	ARGILA	Ds	Dp	Pt	Pa	T.0,1	T.20	T.60	T.100	T.330	T.1000	T.3000	T.10000	T.30000
COT	1,00																		
MOS	0,92	1,00																	
CIS	0,15	0,38	1,00																
AREIA	-0,05	-0,35	-0,96	1,00															
SILTE	0,27	0,61	0,77	-0,88	1,00														
ARGILA	-0,24	-0,07	0,88	-0,82	0,46	1,00													
Ds	0,87	-0,72	-0,04	-0,13	0,01	0,22	1,00												
Dp	-0,57	-0,41	-0,43	0,18	-0,05	-0,28	0,63	1,00											
Pt	0,85	0,72	0,01	0,13	0,00	-0,25	-0,99	-0,52	1,00										
Pa	0,86	0,77	0,21	-0,05	0,15	-0,08	-0,98	-0,68	0,97	1,00									
T.0,1	0,87	0,69	-0,04	0,20	-0,08	-0,29	-1,00	-0,62	0,98	0,96	1,00								
T.20	0,95	0,95	0,37	-0,27	0,43	0,00	-0,87	-0,57	0,87	0,91	0,85	1,00							
T.60	0,67	0,84	0,80	-0,76	0,80	0,47	-0,47	-0,45	0,47	0,59	0,41	0,82	1,00						
T.100	0,61	0,80	0,84	-0,81	0,82	0,53	-0,40	-0,43	0,39	0,52	0,34	0,77	1,00	1,00					
T.330	0,60	0,77	0,84	-0,80	0,79	0,56	-0,38	-0,46	0,37	0,50	0,33	0,75	0,99	1,00	1,00				

⁵ Legenda: COT - carbono orgânico total; MOS - matéria orgânica do solo; CIS - carbono inorgânico do solo; Ds - densidade do solo; Dp - densidade de partícula; Pt - porosidade total; Pa - porosidade aeração; T 0,1 - tensão à 0,1 cm; T 20 - tensão à 20 cm; T 60 - tensão à 60 cm; T 100 - tensão à 100 cm; T 330 - tensão à 330 cm; T 1000 - tensão à 1000 cm; T 3000 - tensão à 3000 cm; T 10000 - tensão à 10000 cm; T 30000 - tensão à 30000 cm.

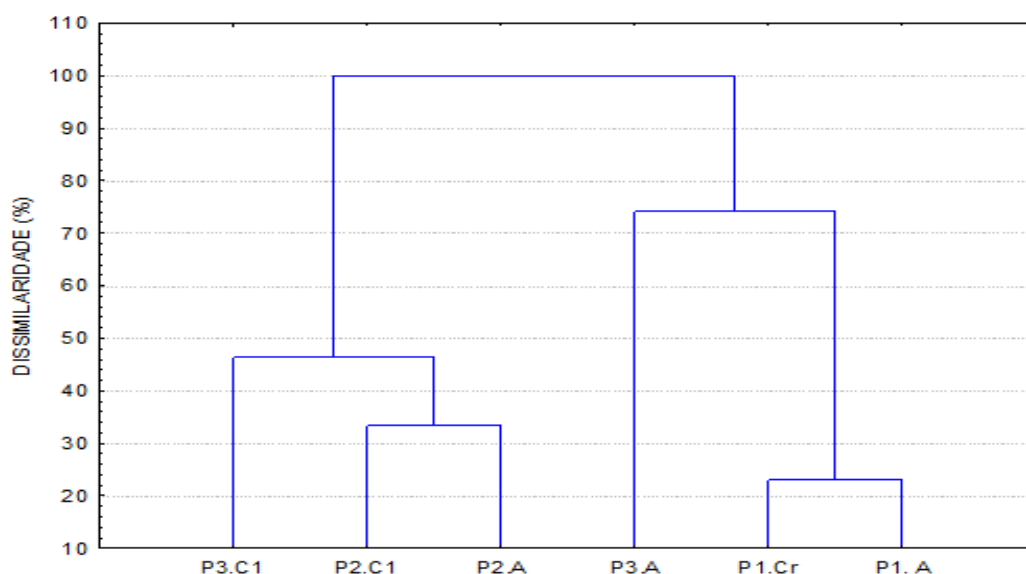
T.1000	0,63	0,77	0,83	-0,77	0,74	0,56	-0,43	-0,50	0,41	0,54	0,37	0,77	0,98	0,99	1,00	1,00			
T.3000	0,62	0,74	0,85	-0,76	0,69	0,60	-0,45	-0,59	0,42	0,56	0,40	0,76	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00		
T.10000	0,60	0,70	0,86	-0,75	0,65	0,63	-0,47	-0,65	0,43	0,59	0,42	0,75	0,94	0,95	0,96	0,97	0,99	1,00	
T.30000	0,70	0,79	0,77	-0,68	0,65	0,50	-0,52	-0,56	0,50	0,61	0,47	0,82	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	0,98	1,00

Fonte: tabela produzida pela pesquisadora.

Após a análise da matriz de correlação foi realizado a análise de agrupamento (Figura 12), por meio do dendrograma. A leitura é realizada da direita para a esquerda, o eixo x indica os grupos formados por ordem decrescente, enquanto o eixo y representa a distância euclidiana entre a formação dos grupos.

Observou-se dois grupos formados no dendrograma, o primeiro grupo com o P1 horizonte A e ponto 1 horizonte Cr (Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário), apresentando menor dissimilaridade em função da menor distância euclidiana. E o segundo grupo, P2 horizonte A, P2 horizonte C1 (Neossolo Regolítico Eutrófico léptico) e P3 horizonte C1 (Neossolo Regolítico Psamítico típico), apresentando maior dissimilaridade em função da maior distância euclidiana. Freitas et al. (2014), ressalta que conforme a disposição gráfica ambientes pouco distanciados em relação ao eixo x possuem maior semelhança entre si, quando comparados a ambientes muito distanciados, ou seja, conforme a menor distância euclidiana mais similaridade os ambientes estudados possuem.

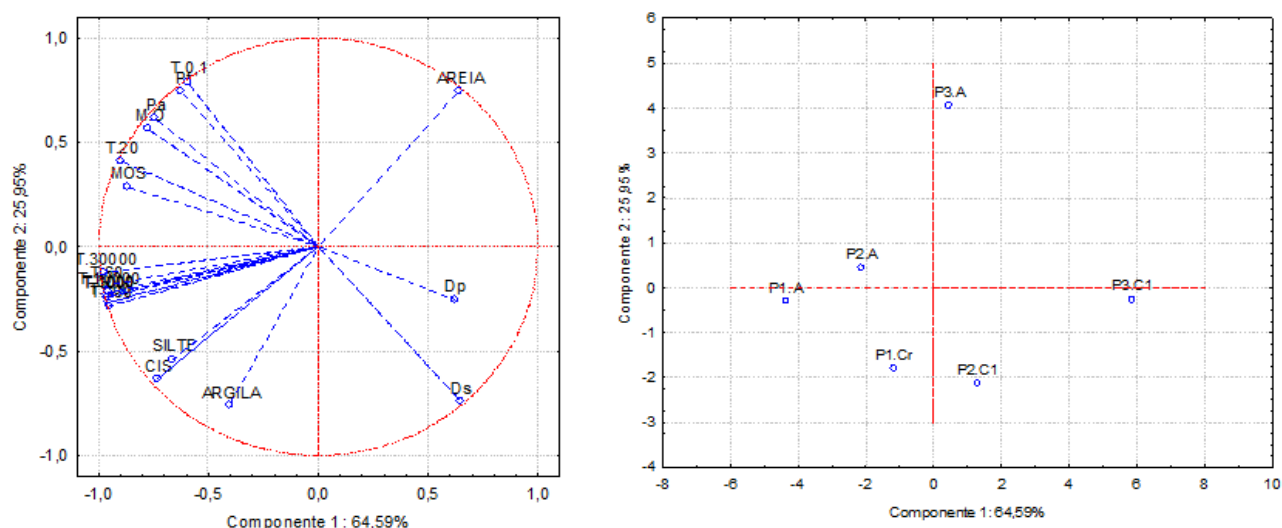
Figura 12. Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples (P1. A – Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário, horizonte A; P1. C1 - Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário, horizonte C1; P2. A – Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, horizonte A; P2. C1 - Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, horizonte C1; P3. A – Neossolo Regolítico Psamítico típico, horizonte A; P3. C1 - Neossolo Regolítico Psamítico típico, horizonte C1).



Fonte: gráfico produzido pela pesquisadora.

A distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações, (Figura 13-A) e distribuição da nuvem de pontos (Figura 13-B) demonstram separações entre os perfis e atributos físicos dos solos.

Figura 13. Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores e variáveis segundo fator *loadings*.



Fonte: gráfico produzido pela pesquisadora.

A componente principal 1 é considerada de maior influência para explicação dos resultados, por deter 64,59 % de poder de explicação. Onde as maiores correlações foram observadas entre as tensões de água no solo, silte e carbono inorgânico do solo, bem como tensões de água, porosidade de aeração e matéria orgânica.

O Neossolo Litólico foi discriminado pelas variáveis retenção de água (representados pelas tensões), silte, carbono inorgânico do solo e argila no horizonte Cr. As variáveis T 0,1, Pa, T 20, e MOS discriminaram o Neossolo Litólico e Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, no horizonte A, enquanto a fração areia discriminou o Neossolo Regolítico Psamítico típico nos horizontes A e C1. As variáveis densidades do solo e densidade de partículas foram discriminadas pelo Neossolo Regolítico Eutrófico léptico no horizonte C1.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos do sistema pedológico apresentaram regime hídrico arídico e hipertérmico. Mesmo o monitoramento tendo sido medido por apenas um ano, dificilmente solos sob clima semiárido, relevo (tipo, posição e forma) e atributos, como textura arenosa e baixo teor de carbono apresentariam outros regimes.

Estudos futuros devem ser direcionados para melhor caracterização detalhada da matéria orgânica destes solos, além da mineralogia (tipo de argila), e processos pedogenéticos, como a bioturbação e outros efeitos do fator Organismos, tendo em vista que o Neossolo Litólico que ocorre na posição do ombro teve maior conteúdo de água.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI K., HARTEMINK A.E. Linking soils to ecosystem services—a global review. **Geoderma**, 262:101-111, 2016.
- AESA. "**Monitoramento**". Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2018. Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/jsp/monitoramento/chuvas/chuvasDiariasMapa.jsp#>. Acesso em: 04 mar. 2017.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDERSON, M. **Australian termites and nutrient recycling**. Iowa: BIOL, 2005. 394p.
- ANDRASKI, B.J.; SCANLON, B.R.. Water Content in: DANE, J. H.; TOPP, G.C. (Co-eds.), **Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods**, Madison, **Soil Science Society of America**, 2002, p. 609-642.
- AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F.A.; DALMOLIN, R.S.D. A evolução da vida e as funções do solo no ambiente. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M.. (Orgs.). **Tópicos em Ciência do Solo V.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-48.
- BALLESTEROS, A. L.; OYONARTE, C.; ANDREW S. KOWALSKI, A. S.; PENÉLOPE SERRANO-ORTIZ, P.S.; CAÑETE, E. P. S.; M. ROSARIO MOYA, R.M.; FRANCISCO DOMINGO, F. Can land degradation drive differences in the C Exchange of two similar semiarid ecosystems? **Biogeosciences**, 2018. p. 263–278.
- BASTIN, J.; BERRAHMOUNI, N.; GRAINGER, A.; MANIATIS, D.; MOLLICONE, D.; MOORE, R.; PATRIARCA, C.; PICARD, N.; SPARROW, B.; ABRAHAM, E.; ET AL. The extent of forest in dryland biomes. **Science**, 356 (6338), 2017. p. 635-638
- BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., SEGAT, J. C., GEREMIA, E. V., DE OLIVEIRA FILHO, L. C. I., ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG FILHO, O., MAFRA, A. L., GATIBONI, L. C. (Eds), **Tópicos especiais em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 141-192.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A; CAMARGO, F A O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 9-26.
- BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. P.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2009. 120p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972. (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia, 8).

BOCKHEIM, J. G. Classification and development of shallow soils (b50 cm) in the USA. **Geoderma Regional**, 2015. 6 31–39.

BUOL, S.W.; SOUTHARD, R.J.; GRAHAM, R.C & McDANIEL, P.A. **Soil genesis and classification**. 6. ed. Chichester: Willey-Blackwell, 2011. 543p

COSTA, A. D., ALBUQUERQUE, J. A., COSTA, A. D., PÉRTILE, P., & SILVA, F. R. D. Water retention and availability in soils of the State of Santa Catarina-Brazil: effect of textural classes, soil classes and lithology. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37(6), 1535-1548, 2013.

DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. A hypothetical nine unit land a surface model. **Geomorphology**, v.12, p. 60-76, 1968.

DANE, J.H.; HOPMANS, J.W. Pressure plate extractor, *In*: DANE, J. H.; TOPP, G. C., (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*, Madison, **Soil Science Society of America**, p. 688-690, 2002.

DINIZ, J.M.T. et. al. Características térmicas do solo observadas em cidades distintas do estado da Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.117-126, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. Brasília, 353p., 2013.

FARIAS, P. K. P.; MARTINS, C. M.; Portela, J. C.; REGO, L. G. S.; SILVA, A. C. R.; MOURA, I. N. B. M. Caracterização e pedogênese de Neossolos na Serra de Santana, Seridó Potiguar. *In*: **III Reunião Nordestina de Ciência do Solo**. Aracaju, 2016.

FAO. **Guidelines for soil dscription**.4th edition revised. Rome: FAO, 2006.

FLINT, A.L.; FLINT, L.E. Porosity, *in*: Dane J. H., Topp G. C., (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*, Madison, **Soil Science Society of America**, 2002, p. 241-254.

FRANCISCO, P. R. M.; PEREIRA, F. C.; BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; SANTOS, D.; SILVA, J. V. N. Mapeamento da aptidão edáfica para fruticultura segundo o zoneamento agropecuário do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 377-390, 2015.

FREITAS, L., CASAGRANDE, J. C., DE OLIVEIRA, I. A., DE SOUZA JÚNIOR, P. R., & CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@mbiente On-line**, 8(2), 155-164, 2014.

GREGORICH, E.G. Quality. *In*: LAL, R. (ed.). **Encyclopedia of Soil Science**. 2. ed. Marcel Dekker. Inc. New York: 2002. p. 1058-1061.

GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. (2002). The solid phase. *In*: Dane J. H., Topp G. C., (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*, Madison, **Soil Science Society of America**, 2002 p. 201-414.

HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physical**. University of Massachusetts. USA: Massachusetts, 2004. p. 494.

HUANG J., JI M.; XIE¹ Y.; WANG S.; HE Y.; RAN J. Global semi-arid climate change over last 60 years. **Climate Dynamics**, vol. 46, n. 3-4, p. 1131-1150, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira**: 2017. Coordenação de População e Indicadores Sociais. - Rio de Janeiro. 147 p.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. **World Soil Resources Reports**. Nº. 106. FAO, Rome. 2015. (Available in <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf>)

JACOMINE, P.K.T. Solos sob caatingas: características e uso agrícola. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa: SBCE-UFV, 1996. 930p.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York – EUA: Dover Publications, 2005. INC. 271p.

JOUQUET P., N. BOTTINELLI, G. KERNELS, T. HENRY-DES-TUREAUX, T. D. THUY, O. PLANCHON, AND D. T. TOAN. Surface casting of the tropical Metaphire posthuma increases soil erosion and nitrate leaching in a laboratory experiment. **Geoderma**. 204:10–14, 2013.

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; DIRKSEN, C. Elements of soil physics. **Developments in Soil Science**, vol. 13. Elsevier, Amsterdam, 1983.

KOOPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KOOPPEN, W., R. GEIGER (Eds.): **Handbuch der Klimatologie**. – Gebrüder Bornträger, Berlin, 1, 1–44, part C, 1936.

LAL, R. (ed.). **Encyclopedia of Soil Science**. 2. ed. Marcel Dekker, Inc., New York, p.1058-1061.

LAVELLE, P. et al. Ecosystem engineers in a self-organized soil: a review of concepts and future research questions. **Soil Science**, 181, 91 -109, 2016.

LEITE, M. M.; ALVES, T. L. B.; FARIAS, A. A. Classificação climática e aptidões agroclimáticas de Culturas para Cabaceiras/ Paraíba/Brasil. In: **Anais IV Simpósio Internacional de Climatologia**. João Pessoa - PB. IV SIC, 2011.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178p.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012. 352 p.

LIMBERGER, D.H.; SILVEIRA, A.S.; ROSA, C.K. **Serviços ecossistêmicos: a importância dos cupins.** In: 8º fórum internacional de resíduos sólidos. Curitiba, Rebouças, 2017.

MANUAL TÉCNICO DE PEDOLOGIA. **Guia prático de campo / IBGE.** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 134 p.

MARENGO, J.A. et. al. Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America. In: Flood in Amazonia and drought in northeast Brazil. **Journal of Climate**, 26 (22), 9137-9154, 2013a.

MARQUES, A.L.; SILVA J.B.; MOURA D.C.; SILVA, D.G. Caracterização morfoestrutural e morfoescultural do Cariri Paraibano. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.11, n.27, p.231-242, 2017.

MIDDLETON, N.; THOMAS, D. S. G. (Eds.). **World atlas of desertification** (United Nations Environment Programme). London: Edward Arnold, 1992. 69 p.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. **European Journal of Soil Science**, 69(1), 39-47, 2018.

MMA. **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da caatinga.** UFPE/Fade/Conservation International do Brasil/Fundação Biodiversitas, Brasília. 2002.

NUNES, J. A.; MEDEIROS, B. M.; BEIRIGO, R. M. Fatores de formação e diversidade de solos no semiárido paraibano. In: I Congresso internacional da diversidade do semiárido, Campina Grande. **Anais...**, 2016.

OCHSNER, T.E.; SAUER, T.J.; HORTON, R. Soil Heat Storage Measurements in Energy Balance Studies. **Agronomy Journal**. American Society of Agronomy. [s.l.], v. 99, n. 1, p.311, 2007.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434p.

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

OLFF, H.; RITCHIE, M.E. Fragmented nature: consequences for biodiversity. **Landscape and Urban Planning**, v. 58, n. 2-4, p. 83-92, 2002.

PBMC. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas.** Contribuição do Grupo de Trabalho do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2014. 414 pp.

PEDRON, F.A.; AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; STÜRMER, S.L.K.; MENEZES, F.P. (2009). Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saptólitos derivados de rochas vulcânicas da formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.119-128.

PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrol. **Earth Syst. Sci.**, 11, 1633-1644, 2007.

PMFA- Plano de Manejo da fazenda Almas. **Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Almas**. Recife, PE, 2015. 87p.

RAWLS, W. J.; PACHEPSKY, Y.A.; RITCHIE, J.C.; SOBECKI, T.M.; BLOODWORTH, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, v. 116, n. 1-2, p. 61-76, 2003.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. de; et al. Gênese: aspectos gerais. *In*: **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 6 ed. Lavras, MG: Editora UFLA, 2014. Cap. 5, p. 109-147.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. 2. ed. Barueri: Manole, 2008. 524 p.

REINERT, D.J.; REICHERT J.M. **Propriedades Físicas do Solo**. Santa Maria, UFSM, 2006. 18 p.

RICHARDS, L. A. (1947). Pressure-membrane apparatus, construction and use. **Agronomy Engineering**, Madison, n. 28, p. 451-454, 1947.

RODRIGUEZ, R. D. G.; SINGH, V. P.; PRUSKI, F. F.; CALEGARIO, A. T. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil, **Hydrological Sciences Journal**, v. 7, p. 2096- 2109, 2015.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **Earth Resources Tecnology Satellite**. v.1, p. 309-317, 1973.

RUELLAN, A; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Universités Francophones. Les Éditions Foucher, Paris, 1993.

SANTOS, E.J.; FERREIRA, C.A.; SILVA Jr., J.M.F. (Org.). **Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba**. Recife: CPRM, 2002. 142p.

SANTOS, J.C.B. et. al. Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36: 683-695, 2012.

SANTOS, R.D.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. (2015). **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7.ed. revista e ampliada. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. p.101

SCHOENEBERGER, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham. **Soil Survey Staff**. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, 2012. NE. 297p.

SARAIVA, S. M. **Caracterização de Luvisolos, Neossolos Regolíticos e Planossolos ao longo de um gradiente pluviométrico no semiárido brasileiro**. Tese de Doutorado em Ciência do Solo - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2016.

SCHULZ, K. et. Al. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 367, p. 62 – 70, 2016.

SCHWINNING, S. SALA O. E. **Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems**. *Oecologia* 141, 2014. p. 211-20.

SILVA, E.F.; CORÁ, J.E.; HARANDA, A.Y.; SAMPAIO, I.B.M. Association of the occurrence of ant species (Hymenoptera: formicidae) with soil attributes, vegetation and climate in the Brazilian Savanna Northeastern region. **Sociobiology**, v.64, n.4, p. 442-450, 2017.

SILVA, P. C. G. et al. **Caracterização do Semiárido brasileiro**: fatores naturais e humanos. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE), 2010.

SILVA, M. L. do N. PORTELA, J. C.; ERNESTO SOBRINHO, F.; et al. **Topossequência de Neossolos na zona rural de Florânia**. Rio Grande do Norte. ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido, v.10, n.1, p 22-32, 2014.

SOIL SCIENCE DIVISION STAFF. **Soil survey manual**. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. (2017) Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.

SPARLING, G., WHEELER, D., VESELY, E.-T., SCHIPPER, L. **What is soil organic matter worth?** *J. Environ. Qual.* 35 (2), 548–557, 2006.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2. ed. John Wiley, New York, USA: 1991. 496p.

STOLT, M.H.; BAKER, J.C. Strategies for studying saprolite and saprolite genesis. *In*: Cremeens, D.L.; Brown, R.B. and Huddleston, J.H., eds. *Whole regolith pedology*. Madison, **Soil Science Society of America**, 1994. p.1-20.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. **Soil Survey Manual**. USDA Handbook, vol. 18. Washington DC: US Gov. Print. Office; 1999.

SOUSA, F.R.; BARBOSA, M.P.; TERCEIRO NETO, C.P. C.; MORAIS NETO, J.M.; SOUSA JUNIOR, S. P. **Estudo da degradação das terras do município de Boa Vista-Paraíba**. *Engenharia Ambiental*, v.4, n.2, p.005-013, 2007.

TAPIA-CORAL, S.C.; LUIZÃO, F.J.; WANDELLI, E.L.; FERNANDES, E.C.M. **Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazonia, Brazil**. *Agrofor. Syst.*, 1991, 65:33-42.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 573 p.

TOPP G.C. Water Content. *In*: DANE, J. H.; TOPP, G.C. (Co-eds.), **Methods of Soil Analysis**. Part 4. Physical Methods, Madison, Soil Science Society of America: 2002. p. 688-690.

United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service. **Soil Science Division Staff. Soil survey manual**. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office. Washington: D.C., 2017. 603p.

VAN GENUCHTEN, M.TH; LEIJ, F.J.; YATES, S.R. **The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**. Report N°. EPA/600/2-91/065. R. S. Kerr Environmental Research Laboratory, U. S. Environmental Protection Agency, Ada, OK., 1991. 85p.

VAN WAMBEKE, A. **Soils of the tropics**. New York: McGraw-Hill, 1992. 343p

VERHEYE, W. **Land use, land cover and soil sciences - Vol. VII - Soils of Arid and Semi-Arid Areas**, 2009. 294p.

VOLKWEISS, S.J. Química da acidez do solo. *In*: Seminário sobre Corretivo da Acidez do Solo 2. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1989. p.3-7.

WANG QR, LI YC, WANG Y. **Optimizing the weight loss-on-ignition methodology to quantify organic and carbonate carbon of sediments from diverse sources**. Environmental Monitoring and Assessment, 2017. 174: 241–257.

WARDLOW, B.D.; EGBERT, S.L. Large area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: an assessment for the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.1096-1116, 2008.

WEIL, R.; BRADY, N.C. **The Nature and Properties of Soils**. 15th edition. Pearson Education: 2017. 1104p.

WHITE, P. J.; BROWN, P. H. (2010) Plant nutrition for sustainable development and global health. **Annals of Botany**, Oxford, v. 105, n. 1, p. 1073–1080.

WYSOCKI, D.A.; SCHOENEBERGER, P.J. HIRMAS, D.R.; LAGARRY, H. E. Geomorphology of soil landscapes. *In*: HUANG, P.M.; LI, Y.; SUMNER, M.E. (ed.). **Handbook of soil science**. CRC Press, Boca Raton, Pp.E-5 a E-39, 2011.

YOEMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal*, 19:1467-1476, 1988.

YOUNG, A. **Tropical soils and soil survey**. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. 468p.