



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**PROCESSOS HIDRO-EROSIVOS EM DISTINTAS CLASSES DE SOLO SOB
DIFERENTES TIPOS DE USO EM ZONA SEMIÁRIDA**

INOCENCIO DE OLIVEIRA BORGES NETO

**João Pessoa-PB
Fevereiro-2021**

INOCENCIO DE OLIVEIRA BORGES NETO

**PROCESSOS HIDRO-EROSIVOS EM DISTINTAS CLASSES DE SOLO SOB
DIFERENTES TIPOS DE USO EM ZONA SEMIÁRIDA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba, como complementação dos créditos necessários para obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Linha de Pesquisa: Gestão do território e análise geoambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Albuquerque Xavier (UEPB-UFPB).

Coorientador: Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza (UFPB).

**João Pessoa-PB
Fevereiro-2021**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B732p Borges Neto, Inocencio de Oliveira.

Processos hidro-erosivos em distintas classes de solo
sob diferentes tipos de uso em zona semiárida /
Inocencio de Oliveira Borges Neto. - João Pessoa, 2021.
140 f. : il.

Orientação: Rafael Albuquerque Xavier.
Coorientação: Bartolomeu Israel de Souza.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Erosão. 2. Escoamento superficial. 3. Semiárido. 4.
Neossolo regolítico. 5. Luvisso solo crômico. 6. Uso e
manejo - Solo. I. Xavier, Rafael Albuquerque. II.
Souza, Bartolomeu Israel de. III. Título.

UFPB/BC

CDU 632.125(043)

**“PROCESSOS HIDRO-EROSIVOS EM DISTINTAS CLASSES
DE SOLO SOB DIFERENTES TIPOS DE USO EM ZONA
SEMIÁRIDA”**

por

Inocencio de Oliveira Borges Neto

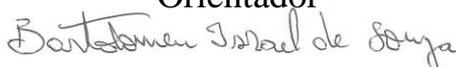
Dissertação de Mestrado apresentada ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do CCEN-UFPB, como requisito total para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Território, Trabalho e Ambiente

Aprovada por:



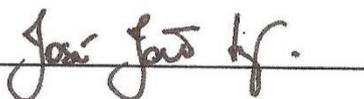
Prof. Dr. **Rafael Albuquerque Xavier**
Orientador



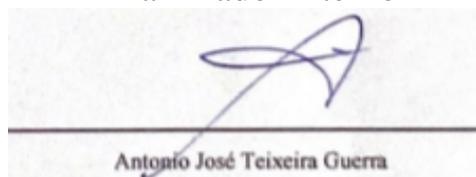
Prof. Dr. **Bartolomeu Israel de Souza**
Coorientador



Prof.^a Dr.^a **Dirce Maria Antunes Suertegaray**
Examinadora interna



Prof. Dr. **José João Leal de Souza**
Examinador interno



Antonio José Teixeira Guerra

Prof. Dr. **Antonio José Teixeira Guerra**
Examinador externo

**Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Curso de Mestrado e Doutorado em Geografia**

Fevereiro/2021

*Dedico este trabalho a minha família,
amigos e a todos (as) que contribuíram
direta e indiretamente na construção da
minha jornada acadêmica.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que é minha fonte de esperança e conforto nos momentos difíceis.

À toda minha família que sempre auxiliou com incentivo e apoio.

Ao meu Pai Vicente Borges Ramos, a minha Mãe M^a do Socorro Ramos Pereira, a minha Avó Alzira de Araújo Pereira e aos meus irmãos e irmãs, que foram fundamentais no monitoramento das parcelas hidro-erosivas quando não estava presente. Também aos meus tios e tias, aos meus primos e primas, aos meus padrinhos de batismo e de crisma.

Aos meus familiares (*in memoriam*), principalmente meu Avô paterno, o Inocencio de Oliveira Borges, de qual herdei o nome, embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força e servindo de inspiração para superar os momentos mais difíceis.

Aos amigos que construí durante a vida, no qual destaco minha amiga (irmã de consideração e de coração) Valdeane Brito, por todo o auxílio no período em que precisei morar em João Pessoa-PB, para realizar meu sonho de fazer o mestrado em Geografia na UFPB.

À minha companheira M^a do Socorro Silva Salvador, por toda paciência, apoio e incentivo durante toda minha trajetória no mestrado.

Aos amigos dos grupos de WhatsApp: “Os viciados #SQN”, “Resenha Geográfica”, “Chupetinhas” e “Copa Ressaca”, que proporcionaram momentos de descontração e debates acalorados sobre Geografia, Política e Futebol.

Agradeço a todos (as) os (as) professores (as) do Programa de Pós-Graduação Geografia - PPGG, pelo conhecimento transmitido e por ampliar meus conhecimentos para além da visão acadêmica.

À Universidade Federal da Paraíba e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos no período 2019-2021, tornando possível a realização desta pesquisa.

Meu agradecimento especial, ao meu amigo e orientador Dr. Rafael Albuquerque Xavier (UEPB-UFPB) que desde a graduação acreditou no meu potencial, me incentivando ao longo de praticamente toda caminhada acadêmica, por meio de apoio moral e até financeiro nos momentos em que mais precisei, por meio das disciplinas e debates, para o desenvolvimento desta pesquisa, e de outros estudos desenvolvidos ao longo dos anos, com o grupo de estudos GEGHAT.

Ao meu coorientador Dr. Bartolomeu Israel de Souza (UFPB) que aceitou colaborar com esse trabalho, mesmo não sendo sua área de especialização, por todo conhecimento desenvolvido durante todo o desenvolvimento da pesquisa e por todos os incentivos morais e financeiros.

Ao amigo e parceiro de trabalho, Dr. José João Lelis Leal de Souza (UFPB-UFV) por todo o apoio no conhecimento pedológico, sendo responsável pela descrição, coleta e análises dos solos aqui estudados, por toda disponibilidade e atenção em me ajudar com orientações, direcionamentos, correções e por aceitar fazer parte da avaliação deste trabalho.

À hoje amiga e parceira de trabalho, Dr^a. Dirce Maria Antunes Suertegaray (UFRGS-UFPB), pelo apoio financeiro nos momentos que mais precisei no início do mestrado, quando ainda não tinha bolsa, pelos trabalhos extras que me foi solicitado, por me proporcionar a ter a maior experiência da minha vida (até hoje), que foi conhecer os areais de sua terra natal (Quaraí-RS), por todos os debates durante as aulas, e por aceitar fazer parte da avaliação deste trabalho.

Ao Dr. Antonio José Teixeira Guerra (UFRJ), por ser um dos maiores ícones nos estudos dos processos hidro-erosivos no Brasil, por servir de referência e inspiração, e por aceitar fazer parte desse momento ímpar, avaliando este estudo.

Ao Biólogo e Botânico Dr. Rubens Teixeira (UFPB), por ajudar na identificação das principais espécies existentes no sistema de pousio (vegetação herbácea – sazonal), por todo apoio financeiro e também pelo companheirismo e amizade.

Aos colegas do grupo de estudos GEGHAT-UEPB e GESA-LAESA-UFPB, que sempre se fizeram presentes para ajudar no que fosse necessário, dos quais ressalto Joseilson Medeiros, Eini Cardoso, Felipe Farias, Christiane Farias e José Antônio Vilar.

Aos funcionários da UFPB, em especial o pessoal da coordenação da Pós-Graduação de Geografia, pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.

Aos colegas e amigos de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba, pelos momentos de amizade e apoio, onde ressalto a turma de Mestrado de 2019.

RESUMO

A distribuição e ocorrência expressiva dos processos erosivos superficiais ocasionados pela dinâmica hidrológica em ambientes semiáridos tropicais, variam tanto espacial como temporalmente. Essa característica evidencia uma grande problemática, principalmente no âmbito do desenvolvimento de práticas agropecuárias, visto que esses ambientes são naturalmente instáveis, por conta de seus elementos naturais (geologia, geomorfologia, solos, cobertura vegetal e clima) e normalmente possuem uma organização socioeconômica desequilibrada. Muitos são os problemas acarretados pela propagação dos processos erosivos acelerados nesses ambientes, como, por exemplo: perda da fertilidade natural do solo, assoreamento dos corpos hídricos, poluição das águas, diminuição da produtividade de áreas agrícolas, aceleração do processo de desertificação, emissão de CO₂ para atmosfera, empobrecimento das comunidades rurais, êxodo rural, entre outros problemas. Dessa forma, o semiárido brasileiro e em particular a porção dessa região que se encontra na Paraíba (Cariri paraibano), comporta características singulares no que se refere ao seu ambiente físico (natural) e em sua organização socioeconômica. Diante disso, o presente estudo teve como objetivos: analisar a dinâmica hidro-erosiva sob distintas classes de solo (Neossolo Regolítico e Luvisolo Crômico) e diferentes tipos de uso e manejo (cultura da palma e sistema de pousio) em zona semiárida; caracterizar e classificar os solos; avaliar as taxas de escoamento superficial e erosão; analisar a seletividade dos materiais erodidos; e, compreender a dinâmica de infiltração da água nos solos. Para tanto, foram abertas duas trincheiras para descrição morfológica e coletas de amostras dos solos, e logo após enviou-se o material coletado ao laboratório para realização de análises de rotina (físicas e químicas); foram instaladas 4 parcelas hidro-erosivas (GUERRA, 2005), numa proporção de 10 m², com reservatórios nas calhas de todas as parcelas, para coletar o material carreado durante os eventos chuvosos, em duas classes distintas de solos: Neossolo Regolítico e Luvisolo Crômico (significativos para a região estudada), sob diferentes tipos de uso e manejo (cultura da palma e pousio), para mensurar as taxas de escoamento superficial e erosão; os sedimentos coletados das parcelas hidro-erosivas foram enviados ao laboratório para compreender a seletividade dos materiais (quantidade de Carbono (C), Nitrogênio (N) e a classe textural); também foi posicionado infiltrômetros de anel nas duas classes de solos, para conhecer a velocidade de infiltração da água em diversas épocas do ano. Os resultados relatam que as parcelas posicionadas no Neossolo Regolítico (PNRPal e PNRPou) geraram mais erosão do que as parcelas sobre o Luvisolo Crômico (PLCPal e PLCPou), que por sua vez, proporcionou os maiores valores de escoamento. As parcelas com o sistema de pousio (PNRPou e PLCPou) foram mais eficientes na contenção da dinâmica hidro-erosiva do que as parcelas com a cultura da palma (PNRPal e PLCPal). Chama-se atenção para as parcelas sobre o Neossolo Regolítico, onde a erosão mensurada na parcela PNRPal superou em 152 vezes, a erosão coletada na parcela PNRPou, evidenciando que uma simples mudança no uso e/ou manejo pode desequilibrar fortemente os sistemas naturais. As maiores taxas de escoamento e erosão foram observadas nos dias com chuvas consecutivas, expondo a importância da umidade antecedente na ocorrência dos processos hidro-erosivos. As correlações estatísticas apontam que o escoamento tem boa correlação com a precipitação, já a erosão apresenta grande intimidade com o escoamento. A análise dos sedimentos permitiu identificar que as parcelas com a cultura da palma (PNRPal e PLCPal) perderam cerca de 5,6 vezes de Carbono (C) e 7,8 vezes de Nitrogênio (N), a mais do que as parcelas em sistema de pousio (PNRPou e PLCPou), destacando-se a parcela PNRPal, que sozinha perdeu 139% mais C e N que todas as outras parcelas juntas. Em relação a granulometria dos sedimentos é notável a forte correlação com o material parental, visto que a parcela PNRPal apresenta cerca de 73,1% de areia grossa e fina (classe textural franco-arenosa), e as parcelas PLCPal e PLCPou, contaram com mais de 92% de silte e argila (classe textural de argilosa a muito argilosa), sendo apenas a parcela PNRPou que não possibilitou a análise de sua granulometria por insuficiência de material coletado, exibindo sua grande eficiência no controle da dinâmica hidro-erosiva. As variáveis mais importantes na variabilidade dos dados de escoamento e erosão e na seletividade dos sedimentos (nutrientes e classe textural) foram as diferentes classes de solo (Neossolo Regolítico e Luvisolo Crômico) associadas aos distintos tipos de uso e manejo (cultura da palma e sistema de pousio). Os ensaios de infiltração trazem que os maiores valores de velocidade de infiltração ocorrem nos meses mais secos (baixa umidade nos solos), do que nos meses do período chuvoso (alta umidade nos solos). Os ensaios realizados no Neossolo Regolítico apresentam maior constância na velocidade de infiltração básica (VIB) do que o Luvisolo Crômico, embora que o Luvisolo Crômico em momentos específicos do ano pode superar as taxas de infiltração

do Neossolo Regolítico. Em geral, o Neossolo Regolítico mostrou-se mais sensível as interferências antrópicas do que o Luvisolo Crômico, em relação a dinâmica hidro-erosiva e na seletividade dos sedimentos. Quando se fala da dinâmica de infiltração, o Luvisolo Crômico por conter em sua estrutura argilas de alta atividade (do tipo 2:1), sofre mais alterações ao longo do ano do que o Neossolo Regolítico, apresentando maior variabilidade nos resultados. Sendo assim, sugere-se a ampliação da mensuração dos processos hidro-erosivos na região semiárida brasileira, para melhorar compreensão da variabilidade espacial e temporal desses fenômenos, tal conhecimento é essencial não só para o avanço dos estudos erosivos em ambiente semiárido, como também pode servir para subsidiar políticas públicas que visem o ordenamento e a gestão dos espaços rurais.

Palavras-chave: Erosão, escoamento superficial, Semiárido, Neossolo Regolítico, Luvisolo Crômico, tipos de uso e manejo.

ABSTRACT

The distribution and expressive occurrence of surface erosive processes caused by hydrological dynamics in tropical semi-arid environments, may vary both spatially and temporally. This feature highlights a serious problem, especially in the development of agricultural practices, as these environments are naturally unstable, because of its natural elements (geology, geomorphology, soils, plant cover and climate) and usually have an unbalanced socioeconomic organization. There are many problems caused by the spread of erosion accelerated in these environments, such as: loss of natural soil fertility, siltation of water bodies, water supplies, decreased productivity of agricultural areas, accelerating the process of desertification, emission CO₂ to atmosphere, impoverishment of rural communities, rural exodus, among other problems. Thus, the Brazilian semiarid region which is located in Paraíba (Cariri) includes unique features with regard to its physical environment (natural) and their socioeconomic organization. Therefore, the present study had as objectives: to analyze the hydro-erosive dynamics under different classes of soil (Regosol and Luvisol) and different types of use and management (palm culture and fallow system) in a semiarid zone; characterize and classify soils; evaluate runoff and erosion rates; analyze the selectivity of eroded materials; and understand the dynamics of water infiltration in soils. For this purpose, two trenches were opened for morphological description and collections of soil samples, and soon afterwards the material collected was sent to the laboratory for routine analysis (physical and chemical); 4 hydro-erosive plots were installed (GUERRA, 2005), in a proportion of 10 m², with reservoirs in the gutters of all plots, to collect the material carried during the rainy events, in two different types of soils: Regosol and Luvisol (significant for the region studied), under different types of use and management (palm and fallow cultivation), to measure runoff and erosion rates; the sediments collected from the hydro-erosive plots were sent to the laboratory to understand the selectivity of the materials (amount of Carbon (C), Nitrogen (N) and textural class); ring infiltrometers were also positioned in the two soil types, in order to know the speed of water infiltration at different times of the year. The results reported in the portions positioned Regosol (PNRPal and PNRPou) generated more erosion than the portions on Luvisol (PLCPal and PLCPou), which in turn, gave greater values of runoff. Plots with the fallow system (PNRPou and PLCPou) were more efficient in containing hydro-erosive dynamics than plots with palm cultivation (PNRPal and PLCPal). It draws attention the plots on the Regosol, where the erosion measured in the PNRPal plot exceeded by 152 times, the erosion collected in the PNRPou plot, showing that a simple change in use and/or management can strongly unbalance natural systems. The highest runoff and erosion rates were analyzed on days with consecutive rains, exposing the importance of antecedent humidity in the occurrence of hydro-erosive processes. Statistical correlations show that runoff has a good correlation with rainfall, whereas erosion is remarkably close to runoff. The analysis of the sediments allowed to identify that the plots with palm plantations (PNRPal and PLCPal) lost about 5,6 times of Carbon (C) and 7,8 times of Nitrogen (N), more than the plots in system fallow land (PNRPou and PLCPou), highlighting the PNRPal plot, which alone lost 139% more C and N than all other plots combined. Regarding the granulometry of the sediments, the strong correlation with the parent material is noteworthy, since the PNRPal plot has about 73,1% of coarse and fine sand (sand textural class), and the PLCPal and PLCPou plots, had more than 92% of silt and clay (textural class from clayey to very clayey), being only the PNRPou plot that did not allow the analysis of its granulometry due to insufficiency of collected material, showing its great efficiency in the control of the hydro-erosive dynamics. The most important variables in the variability of runoff and erosion data and in the selectivity of sediments (nutrients and textural class) were the different soil types (Regosol and Luvisol) associated with the different types of use and management (palm culture and system fallow). The infiltration tests show that the highest values of infiltration speed occur in the driest months (low soil moisture), then in the rainy months (high soil moisture). The tests carried out in the Regosol have a higher constancy in the basic infiltration speed (VIB) than the Luvisol, although the Luvisol at specific times of the year can overcome the infiltration rates of the Regosol. In general, the Regosol showed to be more sensitive to anthropic interferences than the Luvisol, in relation to the hydro-erosive dynamics and in the selectivity of the sediments. When it comes to the infiltration dynamics, Luvisol because it contains high clays activity (type 2:1) in its structure, undergoes more changes throughout the year than the Regosol, showing greater variability in the results. Therefore, it is suggested to expand the measurement of hydro-erosive processes in the Brazilian semiarid region, to improve understanding of the spatial and temporal variability of these

phenomena, such knowledge is essential not only for the progress of erosive studies in a semiarid environment, but also can serve to subsidize public policies that aim at the ordering and management of rural spaces.

Key-words: Erosion, surface runoff, Semiarid, Regosol, Luvisol, types of use and management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1	Danos ocasionados pela erosão hídrica.....	26
Figura 1	Fluxograma dos tipos de erosão e seus respectivos agentes controladores..	29
Quadro 2	Frações granulométricas definidas pela USDA e pela SBCS.....	33
Figura 2	Mapa de solos do Semiárido brasileiro, em escala de 1:5.000.000.....	43
Figura 3	Mapa de localização da área de estudo.....	46
Figura 4	Domínios geológicos do município de Gurjão, Cariri da Paraíba, Nordeste do Brasil.....	49
Quadro 3	Geologia e Litoestratigrafia da extensão territorial do município de Gurjão, Cariri da Paraíba, Brasil.....	50
Figura 5	Geomorfologia (Escala: 1:250.000) do município de Gurjão, Cariri da Paraíba, Brasil.....	51
Figura 6	Hipsometria do município de Gurjão, Cariri da Paraíba, Brasil.....	52
Figura 7	A) Vegetação melhor preservada; B) Vegetação mais degradada. Sítio Pascácio, Gurjão-PB.....	53
Quadro 4	Informações gerais sobre as coletas das amostras de solo em campo.....	56
Figura 8	A e B) Perfis completos dos solos e seus horizontes; C) Coleta de amostras para análise de rotina (físicas e químicas); e D) Coleta de amostras indeformadas com o auxílio do anel volumétrico.....	57
Figura 9	Modelo esquemático representando as parcelas hidro-erosivas.....	59
Quadro 5	Características gerais das parcelas hidro-erosivas da EEMPAS.....	59
Figura 10	Parcelas hidro-erosivas. A) PNRPal - Parcela com cultivo de palma no Neossolo Regolítico e PNRPou - Parcela em pousio no Neossolo Regolítico; B) PLCPal - Parcela com cultivo de palma no Luvissole Crômico e PLCPou - Parcela em pousio no Luvissole Crômico.....	60
Figura 11	A) Limpeza/manutenção das parcelas com a cultura da palma; B) Homogeneização do material antes da coleta; C) Pluviômetro digital; D) Coleta de dados do pluviômetro; E) Coleta de amostras para coar/separar o solo erodido; F) Coagem do solo presente nas amostras; G) Pesagem do solo coado das amostras, na EEMPAS.....	62
Figura 12	A) Infiltrômetro posicionado no Neossolo Regolítico; B) Infiltrômetro posicionado no Luvissole Crômico; C) Ensaio de infiltração no Neossolo Regolítico; D) Ensaio de infiltração no Luvissole Crômico, ambos fazem parte da EEMPAS, Gurjão-PB.....	64
Quadro 6	Avaliação da infiltração pelo método do infiltrômetro de anel.....	65
Quadro 7	Correlações feitas a partir do cálculo do coeficiente de determinação (R ²)..	65
Figura 13	Esquematização de um gráfico box plot.....	66
Figura 14	Localização das parcelas hidro-erosivas e do topo da encosta na EEMPAS.....	71

Figura 15	Solos da EEMPAS - A) Perfil 1: Perfil do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico Léptico; B) Perfil 2: Perfil do LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico.....	72
Figura 16	A, B, C e D) Rachaduras oriundas da alta atividade das argilas do tipo 2:1, no Luvissole Crômico.....	77
Figura 17	A e B) Chuvas diárias mensuradas de 01 de março de 2019 à 31 de dezembro de 2020.....	84
Figura 18	Gráfico mensal das chuvas mensuradas de 01 de março de 2019 à 31 de dezembro de 2020.....	85
Figura 19	Coefficiente de Escoamento em função da Precipitação para todas as parcelas.....	87
Figura 20	A) Taxas de escoamento e precipitação nos eventos chuvosos consecutivos; e, B) Coeficiente de Escoamento em função da Precipitação dos eventos chuvosos consecutivos. Ambas para todas as parcelas.....	88
Figura 21	A) Taxas de escoamento e precipitação nos eventos chuvosos isolados; e, B) Coeficiente de Escoamento em função da Precipitação dos eventos chuvosos isolados. Ambas para todas as parcelas.....	89
Figura 22	A) Mosaico com as parcelas sobre o Neossolo Regolítico (PNRPal e PNRPou); e, B) Mosaico com as parcelas sobre o Luvissole Crômico (PLCPal e PLCPou).....	91
Figura 23	A e B) Coeficiente de Escoamento em função da Intensidade da Precipitação, para as parcelas PNRPal, PLCPal e PLCPou.....	93
Figura 24	Coefficiente de Erosão em função da Precipitação e coeficiente de Erosão em função do Escoamento: A e B, para o período de 2019; C e D, para o período de 2020.....	96
Figura 25	A) Coeficiente de Erosão em função da Precipitação; e, B) Coeficiente de Erosão em função do Escoamento. Ambas para todas as parcelas.....	97
Figura 26	A) Taxas erosivas e precipitação; B) Coeficiente de Erosão em função da Precipitação; e, C) Coeficiente de Erosão em função do Escoamento. Para os eventos chuvosos consecutivos e em todas as parcelas.....	98
Figura 27	A) Taxas erosivas e precipitação; B) Coeficiente de Erosão em função da Precipitação; e, C) Coeficiente de Erosão em função do Escoamento. Para os eventos chuvosos isolados e em todas as parcelas.....	99
Figura 28	A e B) Coeficiente de Escoamento em função da Intensidade da Precipitação, para as parcelas PNRPal, PLCPal e PLCPou.....	101
Quadro 8	Exemplo de diferentes estudos utilizando parcelas hidro-erosivas sob chuva natural, para mensurar o escoamento superficial e a erosão.....	103
Figura 29	Gráficos das propriedades químicas analisadas: A) Quantidade de Carbono e Nitrogênio; e, B) Perdas de C e N proporcionais ao total de erosão.....	108
Figura 30	Granulometria dos sedimentos.....	110
Figura 31	Figura 30: Boxplot para todos os ensaios de infiltração: A) Ensaios de infiltração no Neossolo Regolítico; e, B) Ensaios de infiltração no	

Luvissole Crômico. Chaves: “x” média; “-” mediana; “□” probabilidade de 25% para 75%; “T” extremo máximo; “⊥” extremo mínimo; “•” outliers..... 116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Descrição geral dos solos da EEMPAS.....	70
Tabela 2	Propriedades morfológicas dos solos da EEMPAS.....	75
Tabela 3	Propriedades físicas dos solos da EEMPAS.....	76
Tabela 4	Propriedades químicas dos solos da EEMPAS.....	80
Tabela 5	Taxas de escoamento superficial das parcelas hidro-erosivas da EEMPAS.....	86
Tabela 6	Intensidade da chuva e escoamento superficial no ano de 2020.....	93
Tabela 7	Taxas erosivas nas parcelas hidro-erosivas da EEMPAS.....	95
Tabela 8	Intensidade da chuva e erosão.....	100
Tabela 9	Dados das análises dos sedimentos coletados nas parcelas hidro-erosivas durante todo o período de monitoramento.....	108
Tabela 10	Condições gerais dos ensaios de infiltração, realizados na EEMPAS.....	113
Tabela 11	Dados da velocidade de infiltração da água, nos ensaios realizados nos solos da EEMPAS.....	115

LISTA DE SIGLAS

ADA – Argila dispersa em água

C - Carbono

COS – Carbono Orgânico do Solo

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DS – Densidade do Solo

DP – Densidade de Partículas

EEMPAS – Estação Experimental de Monitoramento de Perdas de Água e Solo

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

GEGHAT – Grupo de Estudos Geomorfológicos e Hidroecológicos de Ambientes Tropicais

GESA – Grupo de Estudos do Semiárido

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INSA – Instituto Nacional do Semiárido

IPBES - Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

ITPS - Intergovernmental Technical Panel on Soils

LAESA – Laboratório de Estudos do Semiárido

MO – Matéria Orgânica

MOS – Matéria Orgânica do Solo

N - Nitrogênio

PB - Paraíba

PNR – Parcelas no Neossolo Regolítico

PLC – Parcelas no Luvisolo Crômico

PNRPal – Parcela no Neossolo Regolítico com a cultura da palma

PNRPou – Parcela no Neossolo Regolítico em pousio

PLCPal – Parcela no Luvisolo Crômico com a cultura da palma

PLCPou – Parcela no Luvisolo Crômico em pousio

PT – Porosidade Total

SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

SGB – Serviço Geológico do Brasil

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação do Solo

UEPB – Universidade Estadual da Paraíba

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFV – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais

UNCCD - United Nations Convention to Combat Desertification

USDA - United States Department of Agriculture

VIB – Velocidade de Infiltração Básica

VII – Velocidade de Infiltração Inicial

VIIa – Velocidade de Infiltração Instantânea Acumulada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	OBJETIVOS.....	22
2.1	GERAL.....	22
2.2	ESPECÍFICOS.....	22
3	ESTADO DA ARTE SOBRE A EROSÃO DOS SOLOS.....	23
3.1	EROSÃO: ORIGEM DO TERMO, DEFINIÇÃO, PROBLEMAS OCACIONADOS POR SUA ATUAÇÃO ACELERADA E ESTUDOS.....	23
3.2	AGENTES GERADORES E FATORES CONTROLADORES DA DINÂMICA EROSIVA.....	28
3.2.1	Erosividade da Chuva.....	29
3.2.2	Propriedades do Solo (Erodibilidade).....	30
3.2.2.1	Classes de solos.....	31
3.2.2.2	Cor.....	32
3.2.2.3	Textura.....	33
3.2.2.4	Densidade de partículas.....	34
3.2.2.5	Densidade do solo.....	34
3.2.2.6	Porosidade.....	35
3.2.2.7	Matéria orgânica (MO).....	35
3.2.2.8	Estabilidade dos agregados.....	36
3.2.2.9	pH.....	37
3.2.3	Características das Encostas (Relevo).....	38
3.2.4	Cobertura Vegetal.....	39
3.2.5	Uso e Ocupação.....	40
3.3	PERSPECTIVAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO PERANTE A DINÂMICA EROSIVA.....	41
4	ÁREA DE ESTUDO.....	46
4.1	HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO.....	46
4.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA-AMBIENTAL.....	48
5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	55
5.1	CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS DAS PARCELAS HIDRO-EROSIVAS.....	55
5.1.1	Trabalho de campo e coletas das amostras dos solos.....	55
5.1.2	Análises laboratoriais.....	58
5.2	PARCELAS HIDRO-EROSIVAS.....	58
5.3	ANÁLISE DOS SEDIMENTOS.....	63
5.4	ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO.....	63
5.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	65

6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
6.1	USO E COBERTURA DAS PARCELAS HIDRO-EROSIVAS.....	68
6.2	SOLOS DA EEMPAS.....	69
6.3	MONITORAMENTO DAS PARCELAS HIDRO-EROSIVAS.....	83
6.3.1	Análise dos sedimentos coletados nas parcelas.....	106
6.4	AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO.....	113
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119
	REFERÊNCIAS.....	124

1 INTRODUÇÃO

Os processos erosivos são fenômenos naturais que ocorrem na superfície terrestre conduzidos por uma combinação complexa de fatores onde o ser humano, por meio de suas atividades, tem colaborado significativamente para alterar a intensidade e a dispersão da sua ocorrência (XAVIER et al., 2016; POESEN, 2017; BORRELI et al., 2020).

As consequências advindas dos processos erosivos acelerados pela intervenção humana podem ser irreparáveis, para o solo, para as águas, para o ambiente e conseqüentemente para a própria sociedade. Civilizações como a Mesopotâmica e Egípcia (no Oriente Médio) e Maias (na Mesoamérica) declinaram tendo a dinâmica erosiva com sendo um dos principais fatores condicionantes (HILLEL, 1991; MONTGOMERY, 2007; VANWALLEGHEM, 2017).

Em termos globais, alguns estudos e pesquisadores/órgãos fornecem estimativas de perda de solo pela atuação da erosão, como expõem Brady e Weil (2013), afirmando que o uso dos solos pelos seres humanos associado com outras atividades, durante a segunda metade do século XX, degradou cerca de 5 bilhões de hectares (43% do globo). A Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), estima que até 2050 serão perdidos cerca 1,5 milhões de km², caso não exista uma preocupação em termo de ações que possibilitem uma utilização sustentável desse recurso natural (FAO, 2019a)

Muitos são os problemas oriundos da atuação acelerada dos processos erosivos, como: emissão de CO₂ para a atmosfera (LAL 2006; 2018; OLSON et al., 2016); perda de nutrientes essenciais ao desenvolvimento da fauna e flora, como por exemplo o Carbono e o Nitrogênio (CHARTIER; ROSTAGNO; VIDELA, 2013; TRAORÉ et al., 2015; WOLKA et al., 2021); poluição e assoreamento dos rios e reservatórios (BAKKER et al., 2005); diminuição na capacidade de infiltração e retenção de água nos solos (SANTOS et al., 2016); destruição de habitats naturais (PRINCE et al., 2018); aceleração do processo de desertificação (MIRZABAEV et al., 2019; SOUZA; SUERTEGARAY; LIMA, 2009; UNCCD, 2017) e etc.

Problemas como esses podem levar a extinção de civilizações e/ou povos (HILLEL, 1993; MONTGOMERY, 2007; VANWALLEGHEM, 2017), ao empobrecimento das comunidades locais/rurais (IPBES, 2018; KIRUI, 2016), colaborando com o abandono da terra seguida do êxodo rural (SHRESTHA, SURIYAPRASIT e PRACHANSRI, 2014), por seus efeitos econômicos, sociais, culturais, produtivos e ambientais (SANTOS et al., 2016), entre muitos outros que interferem na resiliência do ambiente e no cotidiano das sociedades (FAO, 2015; 2019a; GUERRA, 1994b; MORGAN, 2005; ZACHAR, 1982).

No Brasil, os estudos erosivos ainda são muito isolados, e por isso é difícil encontrar estimativas gerais de perdas de solo. Contudo, a EMBRAPA (2002) evidencia que, em áreas de lavouras e pastagens, o país perdia anualmente cerca de 822,7 milhões de toneladas de solo. Já Gomes (2007) relata que no Brasil se perde cerca de 1 bilhão de toneladas de solo por ano, consequência principalmente do desenvolvimento das monoculturas (principalmente soja) e da pecuária extensiva.

Sabe-se que a erosão hídrica em regiões tropicais tende a ter maior intensidade, justamente pela dinâmica climática, e isso agrava-se quando se trata de regiões semiáridas tropicais (nesse caso em especial a brasileira), onde a pluviosidade é suficiente para afetar, mas não o bastante para subsidiar a existência das vegetações densas e protetoras do solo (LEITE et al., 2018; WANG et al., 2016).

Tal fato pode ser observado, na região semiárida brasileira, onde o escoamento superficial e conseqüentemente a remoção e transporte dos materiais erodidos pela erosão laminar, são significativos, uma vez que o clima nessa região apresenta grande variabilidade espaço-temporal das chuvas (SANTOS et al., 2011; 2016; 2018), favorecendo o desenvolvimento de tais fenômenos, sendo influenciado diretamente pelas mudanças de uso e cobertura do solo, podendo ou não ser intensificado pelas atividades humanas sobre o meio (FAO, 2019).

Santos et al. (2007) chamam a atenção que a degradação dos solos pela erosão hídrica nas regiões semiáridas (principalmente para o semiárido brasileiro) é um sério problema e por isso vem sendo estudada nas últimas décadas por órgãos e pesquisadores que se preocupam com os aspectos e as relações socioeconômicas e físicas da região.

Souza et al. (2004) e Souza (2008), alertam para os riscos da desertificação, em virtude do uso indiscriminado dos recursos naturais, principalmente na zona semiárida, - tida como ambiente ecologicamente instável e de forte ação antrópica, - fatores que contribuem para que esta área seja considerada extremamente vulnerável. Nesse contexto, os processos erosivos, através da retirada intensiva da vegetação, exercem importante papel.

Perante o anteriormente mencionado, tem-se que o município de Gurjão, com uma área de cerca 340,5 km², está situado em uma região considerada das mais secas do Brasil, conhecida como Cariri Paraibano, dentro do domínio da Bacia hidrográfica do Rio Taperoá, apresentando pluviosidade média anual entre 400 e 600 mm. Devido à escassez hídrica e a existência de solos incipientes, o município apresenta baixa densidade populacional – não chega a 10 habitantes por km² – tendo a prestação de serviços (público e privado), agricultura de subsistência e a pecuária extensiva, como as principais atividades econômicas do município (IBGE, 2010).

Nas últimas décadas, observa-se rápido desmatamento da Caatinga em função da expansão de atividades econômicas agropecuárias. Seabra et al. (2015) estimam que entre os anos de 1990 a 2009, a bacia do Rio Taperoá perdeu cerca de 1.300 km² da cobertura da Caatinga. Seabra et al. (2014) afirmam que a área onde encontra-se o município de Gurjão, contém apenas 43,95 km² de cobertura com Caatinga, isso corresponde a 12,83% da extensão territorial do município e correlacionam esses índices com o número de cabeças existentes na região (bovino, caprino e ovino).

O município de Gurjão conta com cerca de 57 cabeças/km², seguindo a lógica desses autores anteriormente mencionados, é evidente que enquanto mais se tem animais, mais existe a perda de cobertura da Caatinga, isso por conta das áreas desmatadas para pastoreio, como também pela prática (muito comum na região) de soltar seus animais em plena Caatinga, para pastarem.

As principais práticas agrícolas dessa região são principalmente para subsistência, como os cultivos de milho e feijão (característicos da região), além de culturas que servem como forragem animal, que é o caso das culturas da palma, sorgo e capim. Geralmente o manejo dessas culturas seguem o mesmo padrão, ou seja, estão associadas as práticas agrícolas tradicionais (com algumas inovações mais recentes, é o caso da utilização de máquinas para preparação e plantio). Essas práticas normalmente proporcionam impactos relevantes na estrutura dos solos, tal fato evidencia a importância da implementação do manejo adequado dos solos, pois só assim será possível a manutenção da produtividade agrícola e a minimização dos impactos advindos dos processos erosivos superficiais.

Tomando como base os dados anteriormente mencionados e sabendo de sua influência na atividade erosiva, o presente estudo propõe avaliar a dinâmica dos processos erosivos superficiais com diferentes tipos de usos (cultura da palma e pousio) em dois solos distintos (Neossolo Regolítico e Luvisolo Crômico).

Para isto, foram instaladas parcelas hidro-erosivas, conforme Guerra (2005) para mensurar as taxas de escoamento superficial e a quantidade de solo erodido em cada parcela, posicionou-se um pluviômetro digital modelo P-300 da Irriplus, para mensurar as taxas de entrada de chuva nas parcelas e a utilizou-se infiltrômetros de anel, fazendo ensaios mensais, buscando compreender as mudanças (velocidade e quantidade) no processo de infiltração da água, em diferentes períodos do ano.

Esses equipamentos são oriundos de uma parceria com o Grupo de Estudos Geomorfológicos e Hidroecológicos de Ambientes Tropicais (GEGHAT) da Universidade Estadual da Paraíba (material de confecção das parcelas, reservatórios e pluviômetro digital) e

Laboratório de Estudos do Semiárido (LAESA) da Universidade Federal da Paraíba (infiltrômetros de anéis).

Todos os equipamentos foram instalados na zona rural do município de Gurjão, Cariri da Paraíba, mais especificamente no Sítio Pascácio. Esse ambiente foi escolhido por apresentar os principais tipos de erosão de ambientes semiáridos (erosão superficial/laminar e erosão por salpicamento), por comportar as duas classes de solo mais comuns da região, os Luvisolos e Neossolos, e contemplar as principais atividades humanas dessa região (como o desenvolvimento de culturas tradicionais no semiárido).

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

- Analisar os processos erosivos superficiais em distintas classes de solos, sob diferentes usos e manejos em zona semiárida.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar e classificar os solos;
- Avaliar as taxas de escoamento e erosão em diferentes classes de solo e tipos de uso;
- Analisar os principais materiais que estão sendo seletivamente transportados;
- Compreender a dinâmica da infiltração da água no solo.

3 ESTADO DA ARTE SOBRE EROSÃO DOS SOLOS

3.1 EROSÃO: ORIGEM DO TERMO, DEFINIÇÃO, PROBLEMAS OCACIONADOS POR SUA ATUAÇÃO ACELERADA E ESTUDOS

A origem do termo *erosão* vem do latim “*erodere*”, que significa corroer e possui várias definições na literatura (ZACHAR, 1982). Segundo esse mesmo autor o termo *erosão*, foi mencionado pela primeira vez por Penk 1894, e vem sendo utilizado desde o século XIX, depois é introduzido novamente no início do século XX, e foi estabelecido/definido por Bennett, Fuller, Lowdermilk e Middleton na literatura anglo-americana, Kozmenko, Pankov, Gussak, Sobolev e Zaslavskii na literatura russa, Kuron, Schultze, Glander e Flegel na literatura alemã, e Baulig na literatura francesa (ZACHAR, 1982).

De modo geral, o fenômeno da erosão consiste no processo de desprendimento e arraste das partículas do solo, gerado pela ação da água, do vento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; FAO, 2015 e 2019a; GUERRA, 1994b; MORGAN, 2005; XAVIER et al., 2016; ZACHAR, 1982) e do gelo (ZAPATA et al., 2003), se configurando como a principal causa da degradação das terras agrícolas (PRUSKI, 2009).

O processo da erosão é um fenômeno natural, e é tão antigo quanto a própria Terra (PRUSKI, 2009), mas que pode (e normalmente é) ser influenciada e intensificada pelas atividades humanas, causando sérios danos não apenas para o desenvolvimento de atividades econômicas (agricultura, pecuária, mineração, entre outros), como também para o equilíbrio natural do ambiente.

Segundo a FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015), antes mesmo do desenvolvimento da agricultura, as atividades humanas já alteravam a cobertura vegetal e as propriedades do solo. Brady e Weil (2013), expõem que os seres humanos, desde a pré-história, de alguma forma, provocaram a erosão do solo, e consequentemente sofreram com o empobrecimento e a fome.

Diversas civilizações pretéritas desapareceram quando os solos sobre os quais viviam e de onde retiravam seus sustentos, que antes eram profundos e produtivos, foram arrastados pela erosão, restando apenas camadas rochosas e delgadas como relíquias do passado (DOTTERWEICH, 2013; HILLEL, 1991; MONTGOMERY, 2007; SANDOR; HOMBURG, 2017). Regiões localizadas em algumas partes da Índia, da Grécia, do Líbano e da Síria, que um dia possibilitaram o desenvolvimento dessas grandes comunidades agrícolas, atualmente se encontram praticamente estéreis (HILLEL, 1991; MONTGOMERY, 2007).

Hillel (1991) e Montgomery (2007) relatam que no atual Oriente Médio, civilizações como a mesopotâmica e egípcia, que se estabeleceram próximas as margens de grandes rios (Tigres e Eufrates – Mesopotâmia e Nilo – Egito), compartilhavam de várias características comuns, principalmente em se tratando de sua eficiência agrícola baseada em sofisticadas técnicas de irrigação que possibilitou o seu desenvolvimento e apogeu, mas justamente por tais práticas, a dinâmica erosiva acelerada, associada com a elevação significativa dos teores de sais no solo, como também o aumento de cargas de sedimentos e sua posterior deposição nos vales dos rios, ocasionada pela utilização desenfreada de suas margens, foram vitais para o declínio dessas civilizações.

Na América pré-colombiana civilizações como os Maias (na Mesoamérica), também desenvolveram avançadas técnicas de agricultura, possibilitando o aumento da produção de alimentos, de tal maneira as populações desses povos cresceram exponencialmente causando uma forte pressão nos sistemas naturais, e com o advento desse intenso uso das terras, associadas com o desmatamento e estiagens prolongadas, a erosão assumiu um papel ímpar à decadência dessas civilizações (HILLEL, 1991; MONTGOMERY, 2007; SANDOR; HOMBURG, 2017; VANWALLEGHEM, 2017).

Os exemplos anteriores são apenas alguns dos diversos existentes durante a história da humanidade, que evidenciam as consequências da atividade erosiva descontrolada, ocasionadas pela intervenção humana no ambiente, por meio da utilização desordenada das várzeas de rios e lagos para práticas agrícolas, dos sistemas de irrigação e da retirada da vegetação original, esses e outros fatores são essenciais para o entendimento histórico de como os seres humanos e o ambiente podem ser afetados pela ação do fenômeno da erosão.

Perante tal fato, alguns estudos trazem estimativas em relações a perda de solo e seus consequentes custos à sociedade. Kerr (1998) estima que 22% dos solos do mundo tenham sido erodidos, desde a Segunda Guerra Mundial, e que uma degradação mais acelerada tem atingido de 5 a 10 milhões de hectares de terra por ano. Brady e Weil (2013) afirmam que durante a segunda metade do século XX, a utilização das terras pelo ser humano, paralelamente a outras atividades, degradou cerca de 5 bilhões de hectares (que corresponde a cerca de 43%) de terras do globo.

Estudos da FAO (2019a), evidenciam que a erosão é responsável pela perda de 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano no mundo, reduzindo a produtividade e a capacidade de armazenar matéria orgânica (MO), nutrientes e água. Se ações não forem empregadas para minimizar a erosão no planeta, projeta-se para o ano de 2050 que a remoção de solo será de 1,5 milhões de km² (FAO, 2019a).

No continente europeu cerca de 42 milhões de hectares são afetados pela erosão eólica, e 115 milhões são impactados pela ação da erosão hídrica, tais dados para região do mediterrâneo, estão associadas aos fortes períodos de pluviosidade e longos períodos de estiagem (SOCO, 2009). Nos Estados Unidos da América (EUA), a movimentação de solo feita pelo trabalho erosivo anualmente é de aproximadamente 4 bilhões de toneladas (BRADY; WEIL, 2013), custando anualmente para a economia do país entre US\$ 30 bilhões (URI; LEWIS, 1998) e US\$ 44 bilhões (PIMENTAL et al., 1993). No Reino Unido a estimativa do custo também é considerável, £90 milhões anualmente (ENVIRONMENT AGENCY, 2002).

A realidade brasileira não se difere das encontradas em outras partes do planeta. Pelo contrário, por ser um país tropical e ter grande parte de sua economia baseada na produção agropecuária, se configura como um ambiente propício ao desenvolvimento de processos erosivos em larga escala, onde já em 1949, o país perdia anualmente cerca de 500 milhões de toneladas de solo, pela erosão superficial/laminar (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005), para se ter noção da gravidade do problema, esse número corresponde a retirada de 15 cm de solo, em uma área de aproximadamente 280 mil hectares.

Pruski (2009) alerta que hoje em dia por conta da intensificação do uso do solo, as perdas advindas da erosão, superam em muito os números mencionados anteriormente, onde atualmente a perda de solo é de cerca de 1 bilhão de toneladas por ano no Brasil e de 23 bilhões de toneladas por ano no mundo (GOMES, 2007).

Mesmo existindo certa discrepância nas estimativas mundiais em relação a quantidade de solo perdida pela ação da erosão¹, fica claro o autopoder destrutivo da dinâmica erosiva intensificada pelas atividades humanas, e explicita a magnitude dos custos que a erosão dos solos pode ocasionar para as sociedades ao redor do planeta.

Os efeitos da erosão são diversos e amplos, direto e/ou indireto, e os danos dependem da quantidade e natureza dos processos de erosão-transporte-sedimentação (FENDRICH, 1997 *apud* MAGRI, 2013). A erosão associada as práticas antrópicas, se configura como um dos principais problemas ambientais existentes, e que afetam direta e indiretamente tanto a natureza como a sociedade. Uma série de pesquisadores, demonstram que a erosão causa danos tanto ao local de origem (*onsite*), como a jusante (*offsite*), como se pode observar no Quadro 1.

¹ As discrepâncias existentes nas mensurações e estimativas de perdas de solo pela erosão no mundo, podem ser atribuídas as diferentes metodologias utilizadas para abordagem da temática.

Quadro 1: Danos ocasionados pela erosão hídrica.

Danos ocasionados pela Erosão Hídrica	
Local de origem (<i>onsite</i>)	A jusante (<i>offsite</i>)
<ul style="list-style-type: none"> • Degradação da estrutura do solo; • Perda de matéria orgânica; • Compactação da superfície do solo; • Redução da infiltração de água; • Redução do abastecimento dos lençóis freáticos; • Perda de solo à superfície; • Perda de nutrientes; • Aumento da fração grossa nos solos; • Produção de sulcos e canais; • Exposição de raízes das plantas; • Redução da produtividade do solo, entre outros danos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição das águas; • Eutrofização das águas; • Inundações; • Soterramento de infraestrutura; • Obstrução das redes de drenagem; • Alteração da seção dos cursos de água; • Assoreamento das vias navegáveis, dos portos, dos reservatórios entre outros danos.

Fonte: Adaptado de Guerra (1990, 1994b, 2007), Guerra e Mendonça (2004), Bertoni e Lombardi Neto (2005), Morgan, (2005); SOCO (2009) e FAO (2015, 2019a).

Geralmente o solo perdido pela erosão, é o mais importante/valioso, por comportar os elementos essenciais para o desenvolvimento da flora, fauna e das práticas econômicas (agricultura, pecuária, etc.). Essas áreas degradadas pela erosão acelerada, podem sofrer consequências como: destruição de comunidades de vegetação nativa, diminuição da produtividade agrícola, diminuição da produção animal e da redução do nível de diversidade do ecossistema natural (OLSSON et al., 2019; PRINCE et al., 2018).

A intensa atuação dos processos erosivos contribui de maneira significativa para a baixa produtividade dos solos, isso é um problema atribuído a intensa remoção de material das encostas e perdas químicas ocasionadas pelo processo de lixiviação (XAVIER et al., 2016). Quando a erosão ocorre em áreas cultivadas, os nutrientes presentes nas camadas superiores são incorporados ao solo erodido, como: o nitrogênio, por sua alta solubilidade, e o fósforo, por sua rápida adsorção às partículas mais finas dos solos e esses elementos são vitais para o desenvolvimento das plantas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Lal (2018) e Olson et al. (2016) chamam atenção a outro problema ocasionado pela erosão dos solos acelerada que é a perda de *Carbono* (C) para a atmosfera, esse que contribui diretamente com as mudanças climáticas. O papel da erosão na mudança dos estoques de *Carbono Orgânico do Solo* (COS) é por meio de um transporte preferencial do componente orgânico leve e alteração das propriedades físicas e biológicas do solo, que são determinantes

para o sequestro de COS. Isso ocorre pelo simples fato de que o C fica retido nas partes mais superficiais dos solos (entre 0 a 20 cm), facilitando assim sua remoção e/ou alteração pelos agentes erosivos (LAL, 2006).

Pela complexidade em mensurar as perdas de COS para atmosfera advindas da atuação dos processos erosivos, não se sabe ao certo a quantidade dessas perdas em nível global, mas é consenso entre grande parte dos pesquisadores dessa temática, que as diminuições dos estoques de COS afetam diretamente a qualidade, teor e estabilidade dos agregados, que sequencialmente elevam a susceptibilidade à erosão, e favorecem significativamente as mudanças climáticas (BERNOUX et al., 2006; LAL, 2006; 2018; OLSON et al., 2016; ROBERT, 2006).

Esses são apenas alguns dos danos/problemas acarretados pela ação erosiva acelerada, diante desses fatos fica evidente a necessidade de compreender o universo que rege o fenômeno erosivo em sua totalidade, e sua posterior divulgação, pois dessa forma permitirá aos gestores da sociedade um conhecimento/embasamento coerente para o planejamento e construção de propostas de conservação dos solos através de sua utilização sustentável.

Dessa maneira, é nítido um grande aumento do número de estudos sobre a erosão dos solos pelo mundo, dentre os quais destacamos: Zachar (1982), na Eslováquia; Poesen (1981), na Bélgica; Morgan et al. (1997), na Suazilândia; Bryan (2000), no Canadá; Cotler e Ortega-Larrocea (2006), no México; Guerra et al. (2009), no Brasil; Nigel e Rughooputh (2010), nas Ilhas Maurício; Yükses, Kurdoglu e Yükses (2010), na Turquia; Benmansour et al. (2011) e Laghrour et al. (2016), no Marrocos; Xu, Xu e Meng (2012) na China; Mullan (2013), na Irlanda do Norte; Routschek, Schmidt e Kreienkamp (2014), na Alemanha; Shrestha, Suriyaprasit e Prachansri (2014), na Tailândia; Ochoa et al. (2016), nos Andes do Equador.

Muitos desses estudos conferem à dinâmica erosiva como principal agente da degradação dos solos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005; BLAIKIE, 1985; FAO, 2015; 2019a; GUERRA, 1994b; 2005; 2007; KERR, 1998; GUERRA; MENDONÇA, 2004; MAFRA, 2007; MORGAN, 2005; PRUSKI, 2009; VALENTIN; RAJOT, 2018; ZACHAR, 1982), e alguns vão mais longe atribuindo à erosão do solo acelerada como sendo o principal problema ambiental (GOUDIE, 1990).

Ter noção da abrangência (tanto espacial como temporal) das ações erosivas e dos problemas advindos de sua atuação intensificada pelas intervenções humanas no ambiente, são fundamentais para o planejamento e elaboração de projetos conservacionistas do solo. Contudo, entre os estudos que abordam a atividade dos processos erosivos, observa-se a implementação de diversas abordagens metodológicas, técnicas e de equipamentos como: modelagem com o geoprocessamento (SIGs), laboratoriais (por meio de datações, principalmente do mineral

Berilo) e analógicas como é o caso da utilização das estações experimentais para mensuração do escoamento superficial e erosão (parcelas hidro-erosivas).

No estudo em destaque, faz-se a utilização da estação experimental com o auxílio das parcelas hidro-erosivas e dos infiltrômetros de anel, que segundo Guerra (2005) e Morgan (2005) essa abordagem metodológica e técnica é a forma mais realística para obtenção de dados para os estudos erosivos, e relativamente mais acessível em termos econômicos, mesmo sendo de difícil monitoramento por conta das mudanças de condições que podem vir a existir em campo.

Com as parcelas hidro-erosivas, é possível coletar dados mais consistentes de escoamento superficial e erosão e a utilização de infiltrômetros de anéis possibilita a realização de ensaios de infiltração em diferentes épocas do ano. Os resultados dessas intervenções metodológicas possibilitam uma compreensão mais aprofundada localmente da dinâmica erosiva e de como os seus fatores controladores agem perante esse processo, especialmente em zonas semiáridas tropicais.

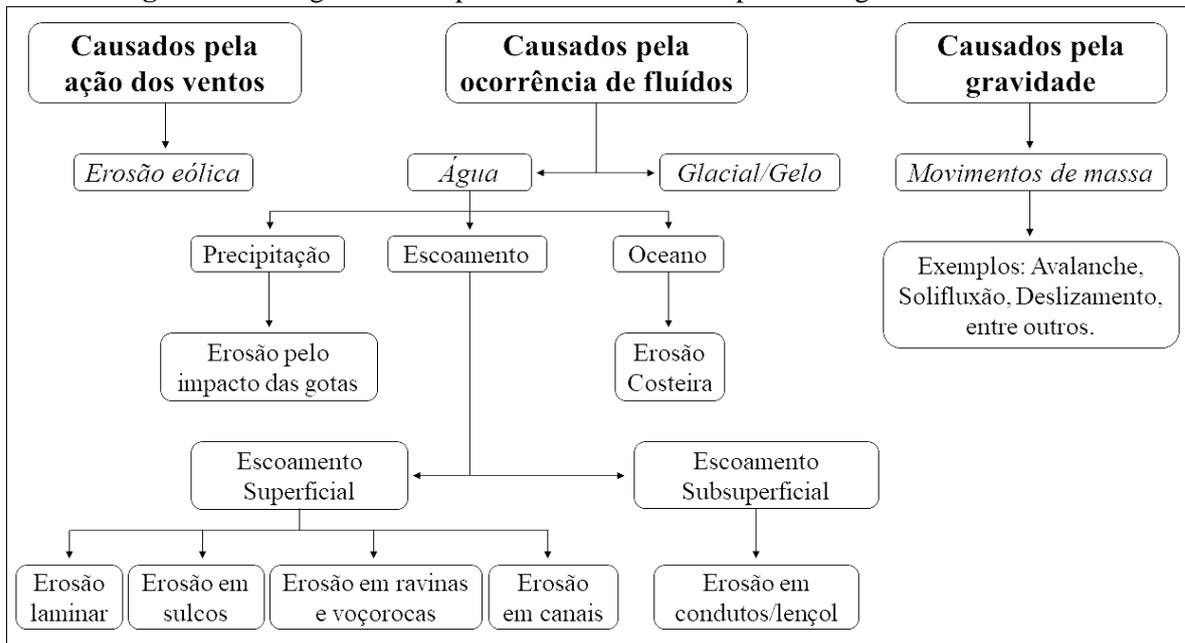
3.2 AGENTES GERADORES E FATORES CONTROLADORES DA DINÂMICA EROSIVA

Muitos são os tipos de erosão existentes, conforme seus agentes geradores (Figura 1), aqui será enfatizada a erosão hídrica laminar/superficial², por sua importância para a pesquisa em destaque. A erosão hídrica para Lima (2003) e Silveira (2002) é a mais importante em regiões de clima tropical, tanto por sua abrangência como pelos prejuízos que acarreta.

Alguns estudiosos expõem que a dinâmica da erosão dos solos é dividida em *erosão geológica*, essa se refere ao processo que transforma o solo em sedimentos, de forma natural, sem a influência da atividade humana e a *erosão acelerada*, ocorre quando a cobertura vegetal do solo é retirada e/ou modificada pela intervenção antrópica, e geralmente esse tipo de erosão é 10 a 1.000 vezes tão destrutiva quanto a erosão geológica, particularmente nas terras muito declivosas situadas em regiões de alta pluviosidade (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; BRADY; WEIL, 2013)³.

² Enfatiza-se esse tipo de erosão, pelo fato de que a área de estudo dessa pesquisa está localizada em uma região semiárida tropical, e a coleta de dados só está relacionada a erosão pelo escoamento superficial. Sendo esse agente erosivo o principal em termos de incidência e abrangência para tal ambiente.

³ Ressalta-se que nessa pesquisa não será utilizado esse tipo de abordagem, porque aqui entende-se que a erosão é um fenômeno natural, que pode ou não sofrer interferência do ser humano, mas crê-se que é necessário evidenciar tais informações.

Figura 1: Fluxograma dos tipos de erosão e seus respectivos agentes controladores.

Fonte: Adaptado de Lal (1990).

Conforme Bertoni e Lombardi Neto (2005), Guerra (1994b) e Morgan (2005), a erosão dos solos é um processo que ocorre em duas fases, onde a primeira está relacionada com a remoção de partículas, e a segunda, se refere ao transporte deste material. Em geral, os trabalhos sobre a temática da erosão dos solos, consideram como fatores controladores desse fenômeno a *erosividade da chuva*, as *propriedades dos solos* (textura, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade, teor de matéria orgânica, estabilidade dos agregados e pH do solo, esses são os principais elementos que controlam sua erodibilidade), as *características das encostas*, *cobertura vegetal* e tipo de *uso e ocupação* (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; FAO, 2019a; GUERRA, 1990; 1994b; MORGAN, 2005; NIGEL; RUGHOPUTH, 2010).

Guerra (1994b) diz que é por conta da interação desses fatores e elementos que alguns locais erodem mais que outros, e que a intervenção humana pode alterar essa dinâmica, e dessa maneira, irá acelerar ou retardar os processos erosivos. É de fundamental importância estudar esses fatores e processos de forma bem detalhada para que se possa compreender como, onde e por que a erosão ocorre (MORGAN, 2005).

3.2.1 Erosividade da Chuva

Esse fator é caracterizado pela aptidão da chuva/precipitação em causar erosão (HUDSON 1961 *apud* GUERRA, 1994b). FAO (2019a) e Lepsch (2010), relatam que os dois

atributos mais importante para a erosividade, são a quantidade e intensidade das chuvas, conforme sua variação no tempo e espaço. Neves (2015) alega que a ação erosiva das chuvas é o principal elemento climático para o desequilíbrio das encostas.

Diversos trabalhos utilizam o total pluviométrico para mensurar o potencial erosivo das chuvas, mas isso não é suficiente para quantificar tal elemento (GUERRA, 1994b), logo porque a intensidade é o ato mais importante no processo da erosividade, por isso um evento chuvoso com intensidade elevada de apenas alguns minutos, pode causar mais erosão, do que uma chuva longa (algumas horas) de intensidade reduzida.

Bertoni e Lombardi Neto (2005), afirmam que a força do impacto das gotas da chuva, contribuem pelo menos de três formas diferentes para o processo da erosividade: a) desprendem partículas de solo no local que sofre o impacto; b) transportam, as partículas desprendidas por salpicamento; e, c) adicionam energia à água superficial, em forma de turbulência.

Outro elemento importante que atua no transporte das partículas de solo, além da erosão causada pelo impacto das gotas da chuva, é o escoamento superficial, originado pela redução da infiltração da água no solo, sendo esse acúmulo na superfície causado pela saturação do solo e conseqüentemente dá se início ao escoamento (NEVES, 2015).

3.2.2 Propriedades do Solo (Erodibilidade)

As propriedades dos solos correspondem as características e elementos intrínsecos ao mesmo, onde sua erodibilidade está ligada à capacidade do solo em resistir a desagregação e transporte (MORGAN, 2005). Esse fator é quem define a susceptibilidade de um solo ao processo erosivo. Wischmeier e Mannering (1969) assinalam a erodibilidade como o principal fator no prognóstico da erosão e no planejamento do uso e ocupação da terra.

Para facilitar a compreensão desse fator, evidencia-se aqui a definição do Manual Técnico em Geomorfologia do IBGE (2009), que se apresenta mais consistente, onde a erodibilidade é definida como:

[...] a resistência do solo tanto à remoção como ao transporte, está primeiramente condicionada às propriedades do solo, dependendo, secundariamente, da posição topográfica, do gradiente da vertente e do montante da perturbação antrópica, o que a torna essencialmente dinâmica no decorrer do tempo (IBGE, 2009, p. 109).

Parafraseando Guerra (1994b), entende-se que tanto na definição como no estudo da erodibilidade do solo, a mesma não é estática, ou seja, é uma função dependente do tempo, que pode sofrer interferências por conta das práticas antrópicas (agricultura, pecuária, mineração,

entre outros). Estas propriedades interferem na circulação da água no solo, na distribuição das forças erosivas, na resistência ao transporte das partículas, e na maioria dos casos, o efeito inicial mais importante é a forma como os solos vão responder à chuva (BRYAN, 2000).

O tamanho das partículas do solo, o teor de matéria orgânica (MO) e a estabilidade dos agregados são os fatores mais importantes na dinâmica da erodibilidade do solo (FAO, 2019a; GUERRA, 1990; WISCHMELER; MANNERING, 1969). Sendo assim, tem-se que são várias as propriedades dos solos que afetam a erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; FAO, 2019a; 2019b; GUERRA, 1990; 1994b; LAL, 1990), e podem ser divididas em físicas e químicas. Dentre essas destaca-se: *classe dos solos, cor, textura, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade, matéria orgânica (MO), estabilidade dos agregados, o pH do solo* entre outras.

3.2.2.1 Classe dos solos

Esse fator é extremamente relevante para o entendimento dos processos erosivos, mesmo estando supracitado nos outros fatores, as diferentes classes de solos, notoriamente apresentarão diferentes níveis de susceptibilidade a erosão, tanto em sua aptidão natural, como conforme o ser humano interfere no ambiente ocasionado a intensificação ou amenização da dinâmica erosiva. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS), desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), as principais classes de solos do Brasil são: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos (SiBCS, 2018).

Araújo Filho et al. (2017) e Cunha et al. (2008; 2010), relatam que os Latossolos por suas características de permeabilidade, grau de flocculação e porosidade elevadas, em condições naturais ou sob manejo adequado, são bem resistentes a atuação dos processos erosivos, diferentemente dos Argissolos, que o apresenta gradiente textural geralmente alto, especialmente se ocorrer o caráter abrupto, ou seja, se o teor de argila do horizonte B for muito maior do que o do horizonte A, configurando como um solo muito susceptível à erosão, fator esse que se demonstra como o principal limitante para a utilização agrícola desse solo.

Os Luvisolos também se apresentam altamente susceptíveis a ação erosiva, mesmo quando situados em relevo suavemente ondulado, como consequência da coesão e consistência do horizonte superficial e da expressiva mudança textural para o horizonte Bt (IBGE, 2015;

SiBCS, 2018), e conforme ocorra um manejo inadequado sobre esses solos, é possível observar a aparição de sulcos e até mesmo voçorocas (CUNHA et al., 2008; 2010).

Os Neossolos Regolíticos se mostram como relativamente susceptíveis à erosão, particularmente os pouco profundos, mesmo em relevo com pouca movimentação (CUNHA et al., 2010), já os Cambissolos possuem erodibilidade bastante variável, isso se deve a diversidade de textura, profundidade, permeabilidade, entre outras características, onde sulcos e ravinas são muito comuns nestes solos. De todo modo, seja qual for a classe de solo, é necessário a implantação de práticas conservacionistas, principalmente em solos mais rasos que apresentam maior suscetibilidade à erosão do que os de maior profundidade (CUNHA et al., 2008; 2010).

3.2.2.2 Cor

A cor é um dos elementos mais visíveis em um perfil de solo. As variações verticais das cores ajudam no processo de descrição morfológica dos horizontes de um perfil de solo (SILVA, 2007). Para Brady e Weil (2013) os elementos que interferem na coloração do solo estão divididos em três: a) o conteúdo de matéria orgânica; b) o teor de água; e, c) a presença e o estado de oxidação dos óxidos de ferro e de manganês.

A determinação desse fator é feita com o auxílio do sistema de *Munsell*, encontrado no *Munsell Soil Color Chart*, onde a cor possui três componentes: croma, matriz e valor. O croma está relacionado com a pureza e/ou saturação de uma cor; o matiz refere-se a combinações de pigmentos vermelhos e amarelos; e, o valor indica a claridade (SILVA, 2007).

Segundo Silva (2007), solos enriquecidos com MO (solos mais escuros) tendem a ser menos susceptíveis à erosão, justamente pela presença da MO, que auxilia na estabilidade dos agregados e na retenção de água no solo, já em solos de cores mais claras (amareladas) em uma abordagem ampla, estão correlacionados com o teor de umidade do solo (solos mais secos) e o desenvolvimento da vegetação, normalmente são mais susceptíveis a erosão dos solos, tal fato pode ser melhor compreendido da seguinte forma: quando existe pouca umidade no solo, inibe-se o desenvolvimento da cobertura vegetal, diminuindo assim sua eficiência no papel de protetora dos solos, podendo ocasionar até movimentos de massa.

O autor referenciado anteriormente ainda traz que, encostas que recebem maior incidência de insolação, são mais secas, apresentam solos mais claros e rasos, e vegetação de menor porte e espaçada, são mais facilmente erodidas do que encostas que tenham menor incidência de insolação.

3.2.2.3 Textura

A textura do solo se configura como uma das características físicas mais estáveis e representa o tamanho das partículas, que variam em três frações granulométricas: areia (2,00 a 0,05 mm), silte (0,05 a 0,002 mm) e argila (< 0,002 mm), sendo o teor (%) de cada uma no solo determina a sua textura (EMBRAPA, 1997; 2017; FERREIRA, 2010; MEDINA, 1972; USDA, 2017). Bertoni e Lombardi Neto (2005) e Guerra (1994b), expõem que essas frações granulométricas são removidas mais facilmente que outras, e dessa forma afetam significativamente a erosão.

O Quadro 2, mostra as classificações das frações granulométricas e amplitude de tamanho adotada pelo sistema de Classificação dos EUA (United States Department of Agriculture – USDA), e a classificação adotada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), que é baseada na anterior.

A determinação da textura é de fundamental importância para a compreensão da susceptibilidade do solo à erosão, logo porque sabe-se que algumas frações granulométricas são mais facilmente removidas que outras, como por exemplo os teores de silte e areia fina que detêm os maiores índices de erodibilidade (GUERRA, 1994b e 2007; MORGAN, 2005; POESEN et al., 2003).

Quadro 2: Frações granulométricas definidas pela USDA e pela SBCS.

Frações	Sistemas	
	USDA	SBCS
	Ø (mm)	
Areia muito grossa	2 – 1	-
Areia grossa	1 – 0,5	2 – 0,2
Areia média	0,5 – 0,25	-
Areia fina	0,25 – 0,10	0,2 – 0,05
Areia muito fina	0,10 – 0,05	-
Silte	0,05 – 0,002	0,05 – 0,002
Argila	< 0,002	< 0,002

Fonte: Ferreira (2010) e USDA (2017).

Porém, Salomão (2007) atribui a fração areia um destaque maior, por conta que os solos arenosos normalmente são mais porosos (tanto em quantidade como em tamanho), permitindo maior infiltração da água, amenizando/dificultando o escoamento superficial. Entretanto, como possui baixos teores de argila (essas que agem como uma ligação entre partículas maiores),

qualquer escoamento pode arrastar grande quantidade de solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005).

A fração de areia grossa para Neves (2015), possui menor predisposição à erosão por sua constituição maior e mais grosseira, e dessa forma dificulta seu transporte pela água. A fração argila, com espaços porosos bem menores, reduz a quantidade e velocidade da infiltração da água no solo, e assim, favorece o maior escoamento superficial, mas Bertoni e Lombardi Neto (2005) remete que as forças de coesão das partículas são bem maiores, aumentando a resistência desse material à erosão.

3.2.2.4 Densidade de partículas

A densidade de partículas, também denominada de *densidade dos sólidos* ou de *densidade real*, representa a relação entre a massa de uma amostra de solo e seu respectivo volume de partículas ou sólidos (FERREIRA, 2010; GROHMANN, 1972b; KIEHL, 1979 *apud* NEVES, 2015). Para Ferreira (2010), a densidade de partículas é um elemento físico muito estável, dependendo exclusivamente da composição das partículas sólidas, onde os valores são inferiores nas camadas mais superficiais (ricas em MO), quando comparadas as camadas subsuperficiais.

Segundo Lima (2008), essa propriedade do solo informa, indiretamente, o material de origem, possibilitando uma leitura paleoambiental do ambiente, e possivelmente das influências que este material poderá ter (e nesse caso enfatiza-se o processo erosivo) sobre qualquer tipo de atividade que venham a ser desenvolvidas no futuro.

3.2.2.5 Densidade do solo

A densidade do solo, que também é conhecida como *densidade aparente* e *densidade global*, refere-se ao volume do solo que incluem os espaços ocupados pela água e ar (FERREIRA, 2010; GROHMANN, 1972), que evidencia o grau de compactação do solo, podendo aumentar por uma série de razões, como a intervenção antrópica - com a retirada da vegetação, seguida do pisoteio dos animais (pecuária) e/ou utilização de maquinário agrícola (GUERRA, 1994b; MORGAN, 2005; NEVES, 2015).

Seguindo com Morgan (2005), o valor de $1,50 \text{ g/cm}^3$, corresponde ao limite entre a baixa e alta densidade do solo. Yüksek et al. (2010), expõe que nas frações minerais e no manejo inadequado do solo predominam valores entre $1,1$ e $1,6 \text{ g/cm}^3$. Já em solos sob florestas

constatam-se valores menores de densidade do solo, entre 0,6 e 0,8 g/cm³, isso se deve a maior concentração de MO, de raízes, e o desenvolvimento de organismos que vivem nos solos (NEVES, 2015).

Esse fator tem uma influência significativa na dinâmica erosiva, pois em solos que apresentam um alto grau de compactação, tendem a ter maior susceptibilidade à erosão, do que os solos com baixo grau de compactação, mas não se pode esquecer dos outros fatores controladores da erosão, sendo o conhecimento integrado desses fatores necessários para os estudos dos processos erosivos.

3.2.2.6 Porosidade

Ferreira (2010), evidencia que a porosidade do solo é a fração do solo em volume não ocupada por elementos sólidos, ou seja, é a fração que corresponde aos elementos líquidos e gasosos (GROHMANN, 1972b; SILVA, 2007). A porosidade de uma amostra de solo se dá pelo resultado do cálculo da densidade de partículas e a densidade do solo (EMBRAPA, 1997; 2017; FERREIRA, 2010; GROHMANN, 1972b). Para Guerra (1994b), a porosidade tem relação oposta com a densidade do solo, onde a medida que a densidade do solo aumenta, a porosidade diminui, e conseqüentemente incide na redução da infiltração de água no solo.

De acordo com Grohmann (1972b) a porosidade mínima é de 30% e máxima de 80%, e normalmente os valores médios são de 40 a 60%, onde a alteração nessa propriedade, seja ela natural ou antrópica, irá modificar a circulação da água e do ar, e dessa maneira afetar os processos bioquímicos que acontecem no solo.

Silva (2007) relata que bruscas mudanças verticais tanto na morfologia como no diâmetro dos poros podem trazer sérios problemas de erosão, principalmente em solos com descontinuidades texturais e estruturais abruptas, ou seja, horizontes superficiais de textura arenosa, e horizontes subsuperficiais de textura argilosa, que nesse caso em particular, observa-se maior velocidade de infiltração da água no horizonte superficial (mais arenoso), e sofre uma drástica redução quando entra em contato com o horizonte argiloso (horizonte B), assim o horizonte superficial fica encharcado e inicia-se o movimento horizontal, podendo provocar erosão.

3.2.2.7 Matéria orgânica (MO)

A matéria orgânica (MO) engloba os detritos vegetais e animais em diversos estados de decomposição, ocorrendo íntima relação com os constituintes minerais do solo (GUERRA, 1994b; JORGE, 1972; LEPSCH, 2010; YÜKSEK et al., 2010). A MO assume um papel importante, pois sua interação com o solo pode melhorar suas qualidades físicas (permeabilidade, porosidade, retenção de água e a estabilidade desses agregados) e químicas, e pode servir de fonte de elementos minerais (GUERRA, 1990, 2007; JORGE, 1972; LAGHROUR et al., 2016; LEPSCH, 2010; LIMA, 2003; OBALUM et al., 2017; STRAWN, BOHN e O'CONNOR, 2020; TISDALL e OADES, 1982).

Os teores de MO tendem a ser modificados pelas intervenções antrópicas no solo, principalmente pela agricultura e pecuária. Guerra (1994b) alerta que essas atividades, sem a utilização de fertilizantes e planejamento, normalmente levam a redução do teor de MO, e conseqüentemente provocam mudanças em outras propriedades do solo. Em colaboração Obalum et al. (2017) evidenciam que a redução de MO nos solos é um indicador de sua degradação.

Bertoni e Lombardi Neto (2005), FAO (2015; 2019a), Guerra (1990, 1994b, 2007), Strawn, Bohn e O'Connor (2020) evidenciam que quanto maior o teor de MO presente no solo, maior será a estabilidade dos agregados, proporcionando uma maior resistência a ação dos processos erosivos (como: impacto das gotas e o escoamento superficial). E se o solo conter em sua composição maiores teores de silte e argila, sua influência será ainda maior, aumentando ainda mais a capacidade do solo resistir a erosão, existindo uma correlação inversa entre o teor de MO do solo e a erodibilidade do mesmo. Os índices de MO inferiores a 3,5%, que representam valores de carbono inferiores a 2,0%, conferem ao solo maior susceptibilidade à erosão (CONFORTI et al., 2013; GUERRA, 1990, 1994b; MORGAN, 2005).

Dialogando com Bertoni e Lombardi Neto (2005) em solos arenosos, a MO age aglutinando as partículas do solo, dando mais consistência a estrutura e reduzindo o tamanho dos poros, aumentando a capacidade de retenção de água, já em solos argilosos, a MO modifica a estrutura, melhorando as condições de circulação de ar e retenção de água. Para Bertoni e Lombardi Neto (2005) a MO retém de 2 a 3 vezes o seu peso em água, aumentando a infiltração e assim diminui as perdas por erosão. Jorge (1972) vai além, afirmando que a fração orgânica do solo retém de 4 a 6 vezes mais água que seu peso.

3.2.2.8 Estabilidade dos agregados

Os agregados são o resultado de processos físicos e físico-químicos que agrupam duas ou mais partículas primárias, e a união que existe em tais partículas é mais forte do que a união entre partículas adjacentes (FERREIRA, 2010; GROHMANN, 1972a; USDA, 2017). O solo é composto por um conjunto variado de agregados. Guerra (1990, 1994b) ratifica que a MO é o melhor agente agregador do solo, influenciando diretamente na erodibilidade. Jakšík et al. (2015) relata ainda que o teor de argila é importante para a estabilidade dos agregados do solo, onde os agregados possuem maior estabilidade com a presença de argila caulinítica, e menor estabilidade com argila montmorilonítica (LIMA, 2003), enquanto que a argila ilítica está em uma posição intermediária (BERTONI; LOBARDI NETO, 2005).

As interferências antrópicas por meio de suas atividades (principalmente agricultura e pecuária), podem afetar tanto positiva como negativamente a agregação de um solo (GUERRA, 2007). Farres (1978) *apud* Guerra (1994b) destaca a função dos agregados no processo de formação de crostas na superfície, onde uma vez reduzida a resistência interna dos agregados, a força acometida pelo impacto das gotas da chuva rompe esses agregados, produzindo uma série de pequenas partículas, que cobre a superfície do solo formando uma crosta, que dificulta a infiltração. A estabilidade dos agregados é um elemento essencial na predição da susceptibilidade à erosão dos solos (JAKŠÍK et al., 2015).

Nos estudos para determinação da estabilidade de agregados, podem ser utilizados alguns parâmetros como: *diâmetro médio geométrico (DMG)*, *diâmetro médio ponderado (DMP)* entre outros (FERREIRA, 2010). O DMG configura-se como uma estimativa do tamanho da classe de agregados com maior ocorrência, já o DMP será maior, quando a porcentagem (%) de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores, for relativamente elevada, ou seja, este parâmetro representa a grande quantidade de agregados maiores no solo, podendo interferir (normalmente de maneira benéfica) na resistência do solo à erosão, pois os espaços porosos ficam maiores entre os agregados e favorece o processo de infiltração da água (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998; FERREIRA, 2010).

3.2.2.9 pH

As medidas de pH do solo mostram a acidez e/ou alcalinidade, e, para os estudos referentes ao fenômeno erosivo dos solos, geralmente associa-se esse fator (pH), em conjunto com outros fatores (GUERRA, 1994b). Essa íntima relação está presente em Wischmeier e Mannering (1969), ambos aludem que a medida que o pH aumenta em solos com alto teor de silte, aumenta também a sua erodibilidade.

Para determinar o pH de um solo, se faz necessário conhecer e compreender o histórico de utilização e ocupação do local em questão. Boardman (1983a) *apud* Guerra (1994b), conta que altos valores medidos de pH, que foram obtidos em alguns solos arenosos do sul da Inglaterra, são resultados da intervenção antrópica, pelo largo histórico de utilização agrícola.

IBGE (2015) e Mendes (2007) informam que, solos que apresentem altos valores de pH, são considerados alcalinos⁴, possuindo maior atividade biológica por conta da maior circulação de oxigênio, pelo aumento da floculação que se dá pela predominância de cátions em solução. Já solos que exponham baixos valores de pH, evidenciam solos ácidos, deficientes em cálcio que colabora, segundo Guerra (1994b) na retenção do carbono, por meio da formação de agregados, que combinam húmus e cálcio.

As práticas antrópicas agrupadas aos índices de pH e as várias características e/ou propriedades do solo, aumentam notoriamente a complexidade da compreensão de sua função na erodibilidade dos solos, dificultando assim possíveis generalizações perante as variações existentes entre as propriedades do solo, e assim, alertam sobre os cuidados necessários em relação aos fatores controladores nos estudos da dinâmica erosiva (GUERRA, 1994b).

3.2.3 Características das Encostas (Relevo)

A topografia do terreno representa um fator indispensável nos estudos dos processos erosivos (NADAL-ROMERO; GARCÍA-RUIZ, 2018). A declividade, o comprimento e as morfologias das encostas podem afetar significativamente a erodibilidade dos solos. Uma série de trabalhos apontam que quanto mais declivoso for o terreno, o escoamento superficial pode aumentar, como também o comprimento da encosta tem grande influência, por possibilitar o aumento de velocidade do escoamento superficial e conseqüentemente o arraste de partículas do solo despreendidas (FAO, 2019a; MIRZABAEV et al., 2019). Morgan (2005) chama a atenção para encostas muito declivosas, que em alguns casos possuem solos mais rasos e assim reduzem as taxas de perda de solo pela atividade erosiva.

Em relação as morfologias das encostas Hadley et al. (1985) *apud* Guerra (1994b), expõem que a forma das encostas, pode até ser mais importante que a declividade, na dinâmica erosiva, tanto é que Morgan (1977) relata que a erosão pode ser facilitada em encostas curtas e convexo-côncavas. As formas côncavas (que são normalmente mais susceptíveis aos processos erosivos), convexas e retilíneas controlam a erosão de diversas formas, mas as rupturas entre

⁴ Segundo Cunha et al. (2010) e Oliveira (2011), esses solos com altos valores de pH são característicos de regiões áridas e semiáridas.

essas morfologias podem ser um dos mais importantes fatores, pois os fluxos de água podem ser acelerados ou retardados, a partir dessas rupturas (GUERRA; BOTELHO, 1999). Essas características devem ser estudadas em conjunto com os outros fatores controladores, para uma melhor percepção do processo erosivo.

3.2.4 Cobertura Vegetal

Esse fator é um dos mais importantes na predição dos processos erosivos, por se configurar como o “*manto*” protetor do solo. Muitos são os efeitos que podem ser creditados a cobertura vegetal, na preservação dos solos, perante à erosão, sendo eles: a) a interceptação das chuvas pela vegetação pode quase dobrar a superfície total das gotas das chuvas antes que elas entrem em contato com a superfície do solo, e acumulem-se na superfície; b) proteção contra as chuvas, evitando o impacto das gotas direto no solo, e a erosão por salpicamento; c) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que chegue ao solo; d) as raízes das plantas aumentam a macroporosidade e, portanto, aumentam as taxas de infiltração, reduzindo o escoamento superficial; e) as raízes também aumentam a resistência do solo a desagregação; f) a vegetação aumenta o atrito (a rugosidade) para o fluxo do escoamento superficial, diminuindo a velocidade do fluxo e absorvendo parte da energia erosiva; g) a matéria orgânica originada da vegetação e animais mortos, favorecem o melhoramento da estrutura dos solos (aumenta o teor e estabilidade dos agregados), aumentando a infiltração, a retenção de água e a resistência aos processos erosivos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; COELHO NETO, 1994; FAO, 2019a; GUERRA, 1994b; LEPSCH, 2010; MENDES, 2007; MORGAN, 2005; TORRI; POESEN, 2014; ZACHAR, 1982).

As modificações feitas na cobertura vegetal dos solos, interferem no equilíbrio natural dos sistemas, principalmente em regiões encontradas entre os trópicos (MENDES, 2007; LIMA, 2003; SALOMÃO, 2007; SILVEIRA, 2002). Guerra (1994b), chama a atenção para o aumento do escoamento superficial, em áreas parcialmente cobertas pela vegetação, tal aumento é relacionado aos solos com menos de 70% de cobertura vegetal, e normalmente ocorre em regiões semiáridas, agrícolas e de superpastoreio. Elwell e Stocking (1976) reforçam essa ideia, afirmando que a erosão diminui à medida que a cobertura vegetal se torna mais densa, cobrindo mais de 30%.

Diante de tantos estudos observa-se a grande influência que a cobertura vegetal tem em relação a ação erosiva dos solos, sua remoção para fins econômicos (seja eles: extração da madeira, agricultura, pecuária, mineração biopirataria, e etc.), reduz os teores de matéria

orgânica do solo, com isso os agregados diminuem sua estabilidade e capacidade de armazenamento de água para seus processos físico-químicos e para as plantas, favorecendo maiores perdas de solo pela ação da chuva, com o impacto direto das gotas das chuvas, que proporciona a formação de crostas de selamento do solo, dificultando a infiltração da água, sendo assim o escoamento superficial ocorre com maior frequência e intensidade agravando ainda mais os processos erosivos.

3.2.5 Uso e Ocupação

Dentre todos os fatores que afetam a erosão dos solos, o que mais se destaca é o uso e ocupação, feito pelos seres humanos, através de suas práticas, sociais, econômicas e culturais. A utilização e ocupação dos solos, juntamente com a cobertura vegetal, são considerados os principais pontos a se considerar em relação a dinâmica erosiva, por serem os elementos mais fáceis e susceptíveis de se modificar na natureza.

Diversos estudos evidenciam que diferentes tipos de manejo, culturas e/ou coberturas podem ocasionar distintas taxas de perdas de solo. Corroborando com isso Bertoni e Lombardi Neto (2005), em estudos realizados em três classes distintas de solo em São Paulo, trazem que em locais com diferentes tipos de uso e cobertura as perdas de solo e água foram dispare, onde: na mata, se perdeu 0,004 t/ha de solo e 0,7% da chuva; na pastagem, foram perdidos 0,4 t/ha de solo e 0,7% da chuva; no cafezal, observa-se perdas de 0,9 t/ha de solo e 1,1% da chuva; e, no algodão, as perdas foram mais consideráveis, 26,6 t/ha de solo e 7,2% da chuva, esses dados comprovam tanto a importância da preservação da cobertura vegetal, para o controle da erosão, como os danos causados pela implementação de práticas agrícolas, nas perdas de solo pela erosão acelerada.

Quando grandes extensões de terra são desmatadas para agricultura, pecuária, ou mineração, imediatamente as taxas de perda de solo e água se elevam (BACCARO, 2007; FAO, 2015; GOUDIE, 1990; GUERRA, 1994b; 2007; GUERRA; MENDONÇA, 2004; LAL, 1990; MORGAN, 2005; SALOMÃO, 2007). Guerra e Mendonça (2004), chamam atenção para o aumento das taxas erosivas, tanto em frequência, como em magnitude, nas áreas rurais, principalmente nos terrenos que são deixados expostos durante boa parte do ano ou naquelas áreas onde há o superpasteio, aumentando a densidade do solo, com o excessivo pisoteio do gado (bovinos, caprinos, ovinos, entre outros).

As intervenções antrópicas causadas pela agricultura e pecuária na grande maioria das vezes não obedecem ou não seguem normas conservacionistas do solo, isso é devido à falta de

interesse do proprietário da terra, em preservar e/ou utilizar de forma sustentável o solo; por falta de conhecimento acerca dos problemas advindos das taxas aceleradas de erosão e/ou das práticas conservacionistas do solo; por inexistência de acompanhamento técnico; e, em muitas oportunidades por falta de opção, como é o caso de grande parte da população rural residente no semiárido brasileiro, que vivem exclusivamente, da agricultura e pecuária de subsistência. Shrestha, Suriyaprasit e Prachansri (2014), relatam que as consequências, dessas atividades intensificadoras dos processos erosivos, podem desencadear o empobrecimento da população local afetada, colaborando até com o êxodo rural.

Outro ponto que deve ser considerado é a erosão que acontece em áreas urbanas. Segundo Goudie (1990), áreas recém-desmatadas para a construção de cidades, as taxas erosivas podem ser maiores em apenas um ano, superando as perdas de solo em áreas agrícolas em décadas de utilização.

O mesmo autor inferi que essas altas taxas erosivas em áreas urbanas ocorrem durante a construção das cidades, principalmente quando existem grandes quantidades de solo expostas e pela intensa movimentação, advinda das máquinas e escavações (GOUDIE, 1990). Essa erosão urbana é considerada um fenômeno típico dos países subdesenvolvidos e/ou que estão em processo de desenvolvimento, sendo quase que inexistente essa forma de erosão nos países desenvolvidos (BLAIKE, 1985; GUERRA e MENDONÇA, 2004).

3.3 PERSPECTIVAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO PERANTE A DINÂMICA EROSIVA

As regiões denominadas de *drylands* (regiões áridas, que englobam regiões: hiperáridas, áridas, semiáridas e semiúmidas), estão distribuídas em 6.119.239 bilhões de hectares no globo (FAO, 2019b), suportando cerca de aproximadamente 2 bilhões de pessoas, sendo que \pm 90% dessa população estão em países subdesenvolvidos e/ou em processo de desenvolvimento (NAUTIYAL, BHASKAR e IMRAN KHAN, 2015), que se configura como um agravante social para a intensificação dos processos erosivos nesses países (BLAIKE, 1985; GUERRA, 1994a; MIRZABAEV et al., 2019).

Dentre o território que as *drylands* abrangem, as regiões semiáridas contemplam aproximadamente cerca de 37% ou 2.263.310 bilhões de hectares, desses cerca de 644.974 milhões de hectares (28,50%) estão no continente Americano, onde a América do Sul comporta 253.192 milhões de hectares, que correspondem a 39,26% em relação a América e 11,19% em relação ao planeta (FAO, 2019b).

No Brasil, o semiárido está localizado na porção Nordeste, quase que integralmente nos estados do Rio Grande do Norte, Piauí, Bahia, Sergipe, Alagoas, Ceará, Pernambuco e Paraíba, e no extremo nordeste de Minas Gerais, estendendo-se por 1,03 milhão de km², correspondendo a 12% da área do país (BRASIL, 2019). Essa região tem uma população de 27 milhões de pessoas, que significam 47% da população do Nordeste (57.071.654 milhões) e 12,85% da população brasileira (210.147.125 milhões), como estimam o BRASIL (2019) e IBGE (2019).

Levando em consideração os dados anteriormente mencionados e as características intrínsecas das regiões semiáridas, principalmente as que estão entre os trópicos, a susceptibilidade natural à erosão dos solos provocada pela água nessas áreas tende a ter maior intensidade, pois a pluviosidade é suficiente para afetar, mas não o bastante para subsidiar a existência das vegetações densas e protetoras (LEITE et al., 2018; MARTÍNEZ- MENA et al., 2002; 2020; WANG et al., 2016)

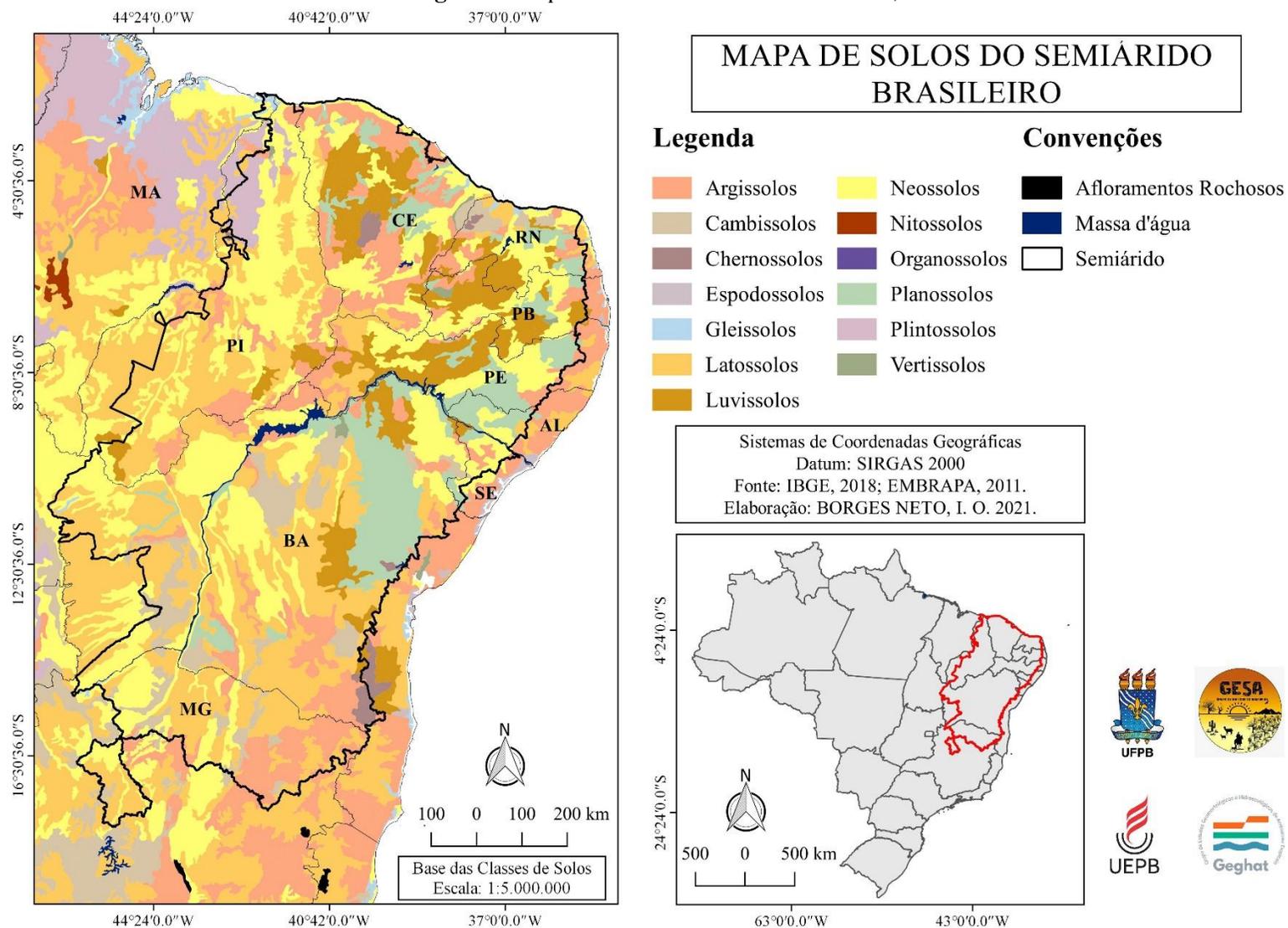
Esse é o caso da *Caatinga* (em tupi-guarani significa, *mata branca*), que é a cobertura vegetal nativa de quase todo o território que o semiárido brasileiro⁵ abrange, existindo apenas no país, ou seja, é uma vegetação endêmica do Brasil. Esse bioma é caracterizado por ser uma formação vegetal caducifólia de porte variável, geralmente arbustivo ou arbóreo arbustivo, de carácter xerófilo, que se caracteriza pela presença de plantas espinhosas, cactáceas e bromeliácea (FOURY, 1966 *apud* ARAÚJO FILHO et al., 2017; SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017).

Para Araújo Filho et al. (2017), o semiárido por ser uma área de baixas médias de precipitação (entre 400 e 800 mm anuais) e elevado potencial de evapotranspiração (de 2.000 mm por ano⁻¹), apresenta solos com menor grau de desenvolvimento pedogenético se comparado aos solos ocorrentes em regiões quentes e úmidas, por isso favorece a concentração relativa de bases (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺) nos perfis dos solos nos domínio das Caatingas, e, conseqüentemente nota-se uma relação mais estreita com o material parental (de origem).

Segundo a EMBRAPA (2011), os solos mais comuns do semiárido brasileiro são: Neossolos (R), 28,23%; Latossolos (L), 26,71%; Argissolos (P), 14,57%; Luvisolos (T), 11,09%; Planossolos (S), 10,21%; Cambissolos (C), 5,53%; Plintossolos (F), 1,14%; Chernossolos (M), 0,74%; Gleissolos (G), 0,40%; Vertissolos (V), 0,29%; Espodossolos (E), 0,005% (Figura X). Vale lembrar que 1,09% do mapa de solos do semiárido brasileiro (Figura 2), equivale a massa d'água.

⁵ É necessário relatar que a *Caatinga*, não está presente em toda zona climática semiárida, pois ocorre estruturas elevadas como, maciços, topos, serras e chapadas, onde é possível encontrar vegetações diferenciadas e relacionadas com ambientes mais úmidos (SILVA et al., 1993).

Figura 2: Mapa de solos do Semiárido brasileiro, em escala de 1:5.000.000.



Fonte: EMBRAPA, 2011; IBGE, 2018. Elaborado pelo autor, 2021.

Dentre esses solos, as classes mais presentes na região do Cariri Paraibano, são:

1º) O Luvissole Crômico (TC), que é um solo constituído por material mineral, expondo horizonte B textural com argila de alta atividade e alta saturação por bases na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA), imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A (exceto A chernozêmico) ou sob horizonte E, e com caráter crômico na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (SANTOS, 2017; SiBCS, 2018);

2º) O Neossolo Litólico (RL), essa classe de solo detêm características como o contato lítico ou fragmentos líticos dentro de 50 cm partindo de sua superfície, apresentando horizonte A ou hístico assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (conforme o volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm e podem admitir um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a nenhum tipo de horizonte B diagnóstico (SANTOS, 2017; SiBCS, 2018);

3º) O Planossolo Nátrico (SN), esse solo apresenta horizonte plânico, que podem ter caráter sódico logo abaixo de um horizonte A ou E dentro de 200 cm a partir da superfície do solo, ou caráter sódico em um ou mais horizontes dentro de 150 cm a partir da sua superfície, desde que a parte superior do horizonte B tenha a soma de $Mg^{2+} + Na^{+}$ trocáveis $> Ca^{2+} + H^{+}$ (SANTOS, 2017; SiBCS, 2018).

Sendo assim, tem-se que a principal forma de erosão que ocorre nessa região é a erosão em lençol ou laminar (CORRÊA; SOUZA; CAVALCANTI, 2014) que recebe essa denominação por conta do seu agente gerador, que no caso é o escoamento superficial, sendo distribuído pelas encostas de forma dispersa e incide de maneira anastomosada. Esse tipo de escoamento geralmente ocorre sob condições de chuvas intensas e/ou prolongadas, quando a capacidade de infiltração é excedida, e assim ocasiona o escoamento (GUERRA, 1994b).

O fluxo originado pelo escoamento superficial encontra diversas rugosidades no terreno, como blocos rochosos e cobertura vegetal, e caso ocorra um aumento da velocidade desse fluxo e da turbulência causada pelos impactos das gotas de chuva pode-se observar uma elevação considerável na capacidade erosiva dessa dinâmica (CORRÊA; SOUZA; CAVALCANTI, 2014; BERTON; LOMBARDI NETO, 2005; GUERRA, 1994b; MORGAN, 2005).

Em regiões semiáridas, e em especial a brasileira (principalmente o Cariri paraibano) o escoamento superficial tende a ter maior intensidade e conseqüentemente elevada capacidade de remover e transportar os materiais erodidos pela erosão laminar (CORRÊA; SOUZA; CAVALCANTI, 2014), uma vez que o clima semiárido apresenta grande variabilidade espaço-

temporal das chuvas, favorecendo o desenvolvimento de tal fenômeno, sendo influenciado diretamente pelas mudanças de uso e cobertura do solo, podendo ser intensificado pelas atividades humanas sobre o meio (FAO, 2019; MIRZABAEV et al., 2019).

Para além das características naturais, o semiárido brasileiro ainda precisa lidar com um complexo contexto social, sendo considerada a região semiárida mais povoada do planeta. Souza (2008), chama atenção para o esquecimento, na perspectiva socioeconômica, por parte do poder público federal e estaduais, dessa região.

Tal fato tem suas origens desde o processo de colonização, na qual sua ocupação e utilização ocorreu de forma exploratória e predatória (LUETZELBURG, 1922; SOUZA, 2008; SOUZA; SOUZA, 2016; SOUZA; SUERTEGARAY; LIMA, 2009;). As longas e intensas ações antrópicas nessa região estão historicamente relacionadas com a extração vegetal (desmatamento) e com o desenvolvimento da agricultura e pecuária (ambas arcaicas e principalmente para subsistência), fatores de longe os mais presentes na realidade do semiárido brasileiro, que agravam ainda mais a problemática da erosão dos solos.

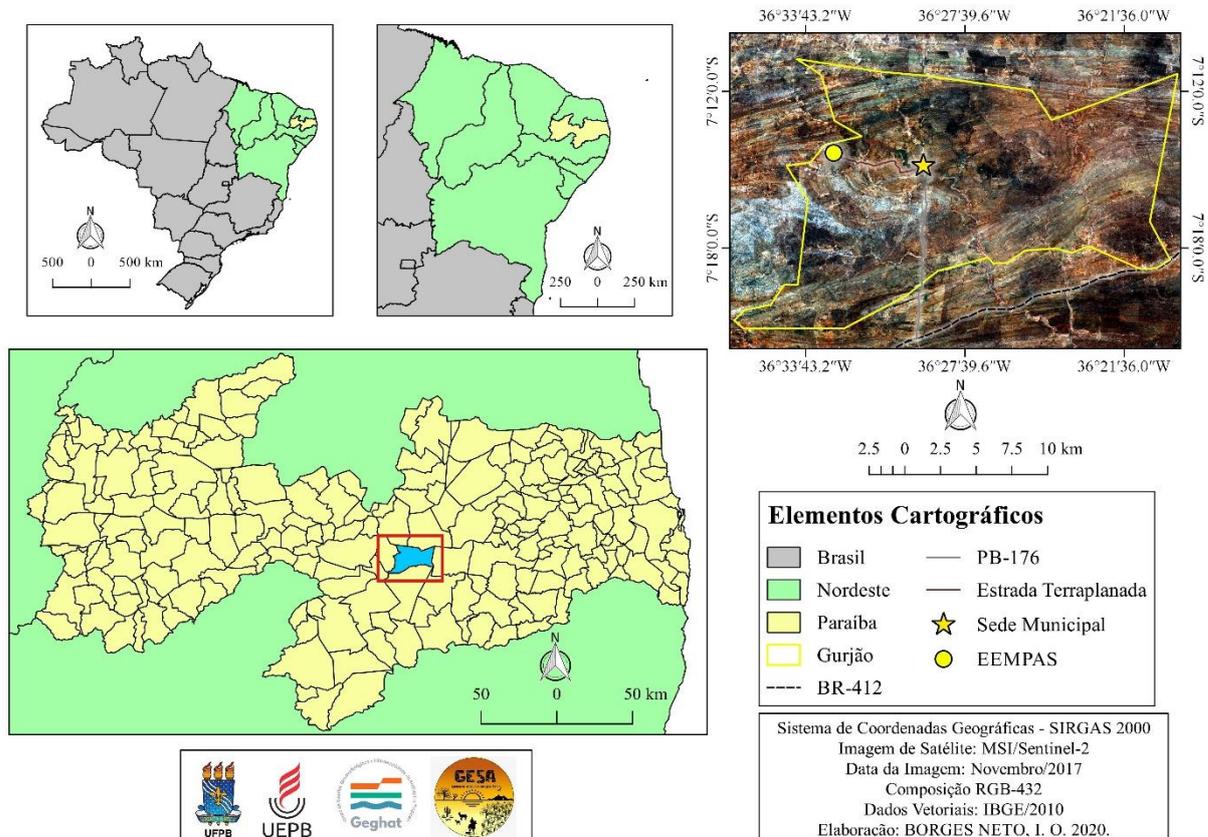
Perante tal realidade, observa-se um constante aumento em relação a preocupação com a dinâmica erosiva para a região semiárida brasileira, e os problemas que podem ser intensificados por sua ocorrência desenfreada, isso pode ser confirmado pelo número considerável de produção de trabalhos que seguem essa vertente (ALBUQUERQUE; LOMBARDI NETO; SRINIVASAN, 2001; GALDINO et al., 2008; GOMES, 2000; LEITE et al., 2018; LEPRUN, 1981; MERTEN; CASSOL; MINELLA, 2012; SANTOS et al., 2016; 2018; SANTOS, SILVA e SRINIVASAN, 2007; SOUZA; SUERTEGARAY; LIMA, 2009; SEABRA et al., 2015; XAVIER et al., 2016; 2018; 2020 entre outros).

Mesmo com essa preocupação e produção acentuada, os trabalhos em relação à erosão dos solos no semiárido brasileiro ainda são muito isolados, necessitando de uma ampliação no que se refere as áreas estudadas e estações de monitoramento de escoamento superficial e erosão, só assim será possível ter parâmetros/informações mais abrangentes e adequados (as) para o planejamento da utilização dos recursos naturais, destacando-se a água e o solo.

4. ÁREA DE ESTUDO

A Estação Experimental de Monitoramento de Perdas de Água e Solo (EEMPAS) da UEPB/UFPB, está localizada no Sítio Pascácio, zona rural do município de Gurjão, que por sua vez, faz parte da Microrregião do Cariri Oriental e Mesorregião da Borborema, Estado da Paraíba (IBGE, 2010), conforme a Figura 3.

Figura 3: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: IBGE (2010) e Sentinel-2 (2017). Elaborado pelo autor, 2020.

O município de Gurjão contém aproximadamente em sua extensão territorial cerca de 340,5 km², e faz limite com os municípios de Juazeirinho e Soledade, ao Norte, São João do Cariri, ao Sul, Boa Vista, ao Leste, e Santo André e Parari, ao Oeste (IBGE, 2018).

4.1 HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO

Segundo Rietveld (2009) o processo de colonização do Cariri paraibano se deu pelos rios (servindo de rota) e a ocupação por sesmarias. Souza e Souza (2016), ressaltam que

somente a partir de 1663, as concessões das sesmarias possibilitaram a colonização e exploração econômica da região.

Esses fatos estão intimamente correlacionados com o processo de colonização, ocupação e povoamento da região que hoje é parte do território de Gurjão, logo porque os rios serviam tanto de referência para localização espacial, de vias para traslado, de fonte de água para abastecimento durante os períodos de estiagem, como também as áreas de suas margens forneciam as melhores condições para a implantação e desenvolvimento da agricultura de subsistência, atividade essa que foi muito difundida em todo o interior da Paraíba durante a colonização (SOUZA; SOUZA, 2016; RIETVELD, 2009).

Almeida (2012), relata que, historicamente, as principais formas de uso do solo para a região que compreende a bacia hidrográfica do rio Taperoá (e nesse caso o município de Gurjão, tem todo o seu território dentro dessa bacia), foram a pastagem, a agricultura de subsistência e a cultura do algodão, tendo esta última declinado no final da década de 1980.

Em paralelo ao declínio da cotonicultura, nota-se a expansão da pecuária, principalmente de caprinos, e do processo de urbanização. A densidade de caprinos apresentou aumento significativo nos municípios que compõem a região, a ponto de em vários municípios, a densidade de caprinos ser superior a densidade demográfica (ALMEIDA, 2012).

O município de Gurjão tem sua origem ligada ao município de São João do Cariri, do qual foi distrito até 1962, com o nome primitivo de Timbaúba de Gurjão. No mesmo ano de sua elevação de distrito para município, seu topônimo foi simplificado apenas para Gurjão, em homenagem coronel Antônio José de Farias Gurjão, o qual era dono das terras onde começou a surgir o primeiro núcleo populacional em 1890.

Ressalta-se que a origem do futuro município data do ano de 1733, com a criação da sesmaria e posteriormente a passagem do Padre Ibiapina em 1886 na região, que favoreceu o aceleramento do povoamento dessas terras (RIETVELD, 2009). Outro elemento importante é que Gurjão quando foi emancipado contava com o seu atual território, acrescido do distrito de Santo André, que se elevou para categoria de município em 1996.

Atualmente Gurjão conta com uma população estimada de 3.428 habitantes (IBGE, 2019), mas os dados concretos que estão disponíveis pelo próprio IBGE, ainda são do último censo demográfico realizado em 2010, onde a população contava com 3.159 indivíduos, sendo esses divididos em 2.128 na zona urbana e 1.031 na zona rural, com uma densidade demográfica de 9,20 hab/km².

A economia do município, historicamente foi baseada na agricultura de subsistência (principalmente com as culturas de milho, feijão e algodão – durante seu apogeu) e pecuária

(bovinos, caprinos, ovinos, entre outros). Atualmente essa economia abre espaço para os serviços (artesanato, prestação de serviço a entidade pública e/ou privada, turismo entre outros) e agropecuária, principalmente com a caprino-ovinocultura (IBGE, 2019), sendo esta última objeto de um evento festivo anual⁶ de elevada importância regional e até mesmo estadual.

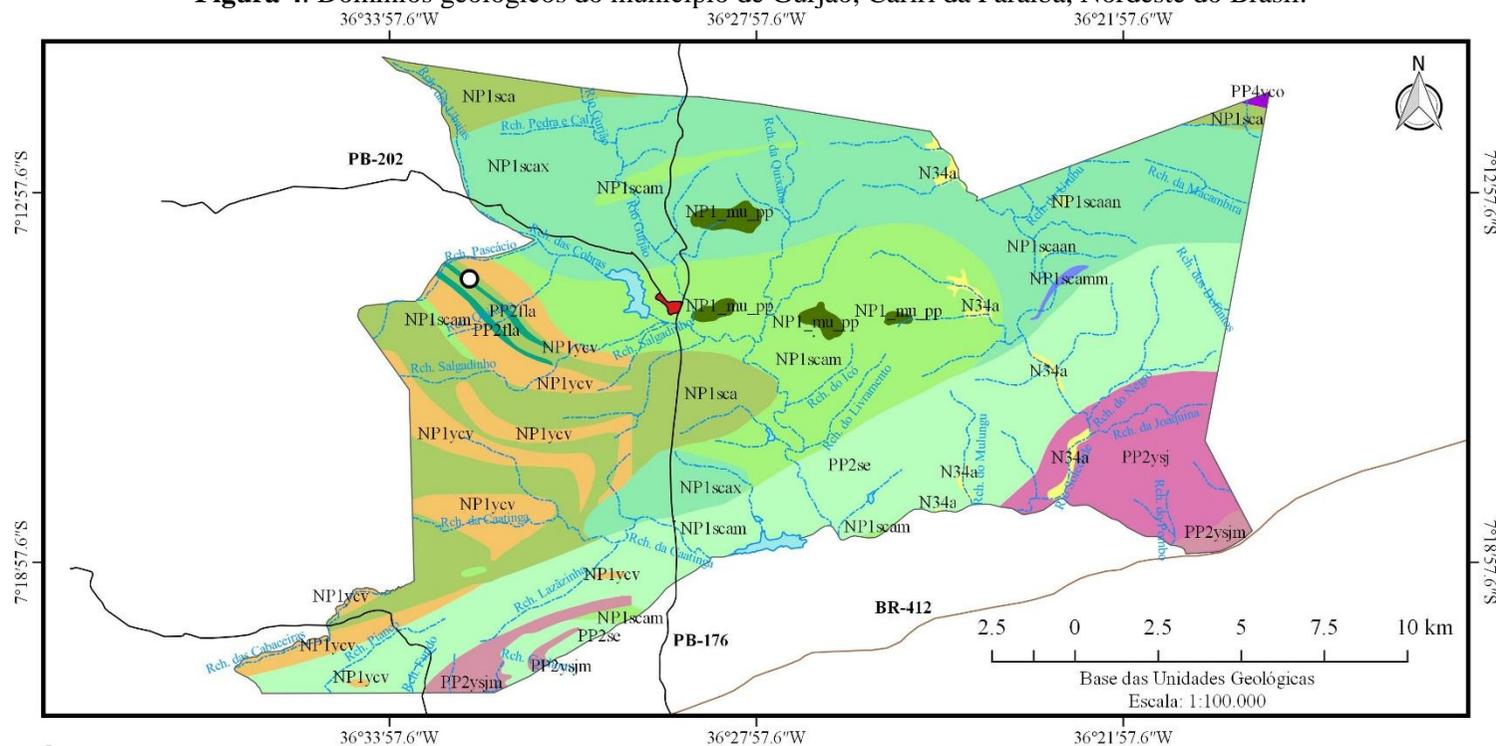
4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA-AMBIENTAL

O local de estudo está posicionado sobre a Província Geológica da Borborema, na qual a geologia é composta predominantemente por rochas metamórficas do Proterozóico, tratando-se de gnaisses com vários graus de metamorfismo e diferentes composições mineralógicas (Figura 4).

Perante o mapa geológico do município de Gurjão-PB (Figura 4) e o Quadro 3, observa-se que os complexos litológicos presentes nas EEMPAS, estão divididos em dois, onde a parte que se encontra as parcelas (PNRPal e PNRPou) do Neossolo Regolítico, está dentro da unidade *Complexo São Caetano*, sobre a NP1sca, já as parcelas (PLCPal e PLCPou) do Luvisolo Crômico, fica na unidade *Complexo Floresta*, sobre a PP2fla. Essa diferença litológica pode ser um dos elementos responsáveis pela a existência de solos de naturezas/classes diferentes, mesmo estando próximos.

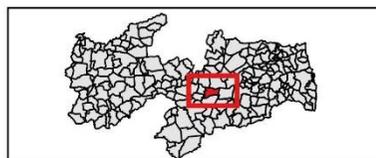
⁶ A festa Bode na Rua (é encontrado no calendário do Estado da Paraíba de eventos), evento esse que proporciona uma divulgação da principal atividade agropecuária do município, com uma série de atividades como: exposição de animais (caprinos e ovinos), concursos leiteiros, leilões, palestras acerca da caprino-ovinocultura, apresentações culturais, e shows musicais durante todo o período do evento, ocorrendo no final do mês de julho.

Figura 4: Domínios geológicos do município de Gurjão, Cariri da Paraíba, Nordeste do Brasil.



Legenda

- | | |
|---|---|
| NP1scam - Ortognaisses e gnaisses bandados migmatíticos | PP2fla - Anfibolitos, granada +- metagabros, menoritos, metadioritos |
| N34a - Depósitos aluvionares e de terraços: areias, cascalhos e argilas inconsolidadas | PP2se - Granada-silimanita-muscovita-biotita gnaisses |
| NP1sca - (Silimanita) muscovita-biotita gnaisses | PP2ysj - Ortognaisses São Joãozinho: biotita-anfíbólio augen ortognaisses |
| NP1scaan - Anfibolitos ortoderivados (rochas mevolcânicas) | PP4yco - Biotita ortognaisses médios |
| NP1scamm - Mármores | PP2ysjm - Ortognaisse São Joãozinho: magnetita-granito-gnaisses |
| NP1scax - (Estaurolita +- silimanita +- granada) micaxistos muscovita-biotita gnaisses e quartzitos | NP1_mu_pp - Talco, xistos, serpentinitos, cloritaxistos e canga olivínica |
| NP1ycv - Muscovita-biotita ortognaisses miloníticos graníticos a sienograníticos | |



Convenções

- | | |
|---|--|
| Área Urbana | Hidrografia |
| Reservatórios | Rodovia Federal |
| EEMPAS | Rodovia Estadual |



Sistemas de Coordenadas Geográficas
Datum: SIRGAS 2000
Fonte: Folhas Boqueirão SB.24-Z-D-III (2012) e Juazeirinho SB.24-Z-D-II (2018), CPRM; IBGE (2018).
Elab. BORGES NETO, I. O. 2020.

Fonte: Folhas Boqueirão SB.24-Z-D-III (2012) e Juazeirinho SB.24-Z-D-II (2018), Escala: 1:100.000, CPRM. Elaborado pelo autor, 2020.

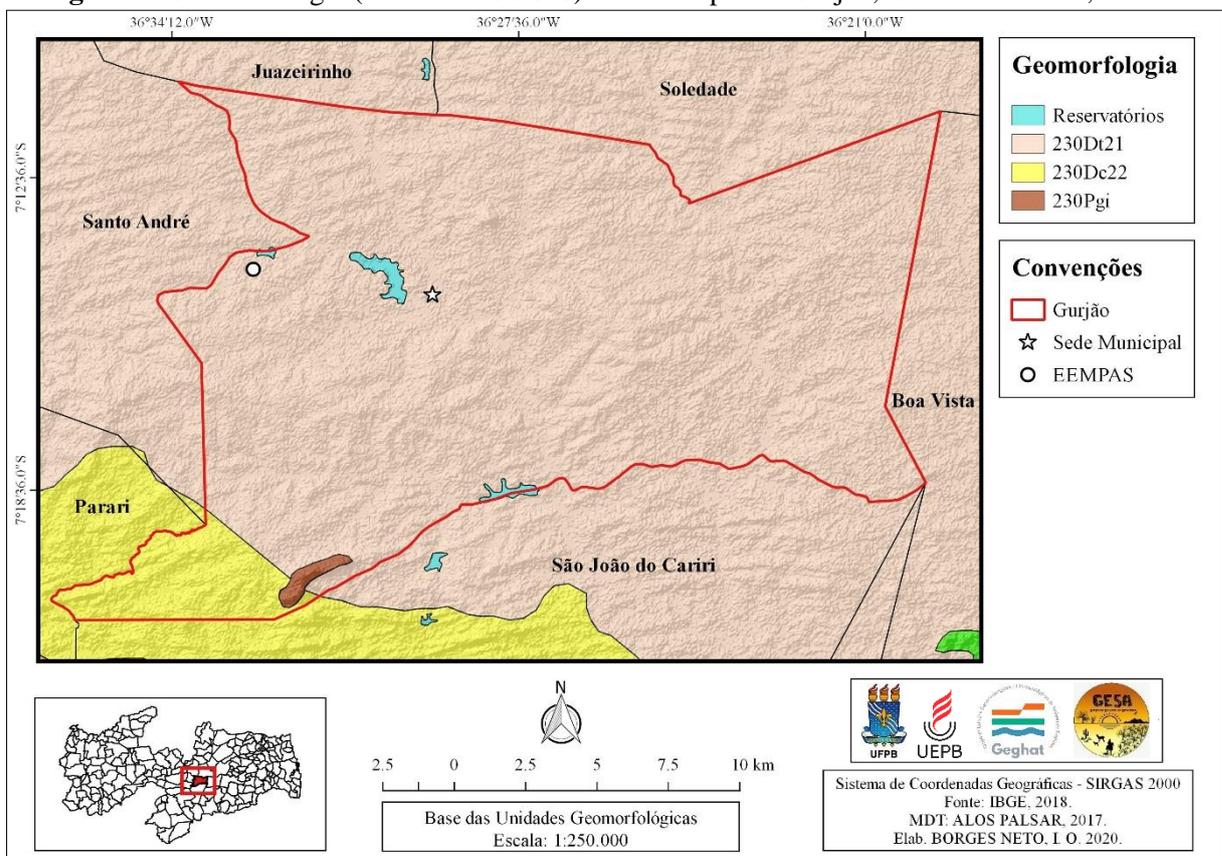
Quadro 3: Geologia e Litoestratigrafia da extensão territorial do município de Gurjão, Cariri da Paraíba, Brasil.

	Era	Unidades	Legenda	Descrição	
DOMÍNIO DA ZONA TRANSVERSAL	PALEOPROTEROZÓICO	<i>Ortognaiss São Joãozinho</i>	PP2 γ sj	Biotita-anfibólio- <i>augen</i> ortognaisses podendo conter granada de composição sienogranítica a monzogranítica, granulação média a grossa, textura granolepidoblástica e porfiroblástica, afinidade geoquímica cálcio alcalina de alto K. 2109 Ma-U-Pb	
			PP2 γ sjm	Magnetita-granito-gnaisses portando duas foliações, sendo uma desenvolvida pelo estiramento de magnetitas	
		<i>Complexo Floresta</i>	PP2fla	Anfibolitos, granada \pm metagabros, metanoritos, metadioritos, leucognaisses. Formação ferrífera. 2050 Ma-U-Pb	
		<i>Complexo Sertânia</i>	PP2se	Granada-silimanita-muscovita-biotita gnaisses com transição para gnaisses migmatizados estromáticos e anfibolitos	
		<i>Ortognaisses Coloete</i>	PP4 γ co	Biotita ortognaisses médios, granoblásticos, inequigranulares de composição monzogranítica, 1611Ma-U-Pb, justapostos (por tectônica) com biotita granitos deformados ligeiramente porfiríticos, granito milonito gnaisses a biotita protomilonito granítico (Silimanita) muscovita-biotita gnaisses por vezes granadíferos, homogêneos a bandados e termos miloníticos a protomiloníticos com transição para gnaisses migmatíticos estromáticos	
	MESOPROTEROZÓICO/NEOPROTEROZÓICO	<i>Complexo São Caetano</i>	NP1sca	(Estaurólita \pm silimanita \pm granada) micaxistos, muscovita-biotita gnaisses, quartzitos, anfibolitos e rochas calcissilicáticas milonitizadas	
			NP1scax	Ortognaisses e gnaisses bandados migmatíticos com mesossoma de biotita gnaisses granadíferos de coloração cinza, com leucossomas graníticos e anfibolíticos	
			NP1scam	Mármore	
			NP1scamm	Anfibolitos ortoderivados (rochas metavulcânicas), clorita xistos e magnetita filitos (rochas metavulcanoclástica?)	
			NP1scaan	Muscovita-biotita ortognaisses miloníticos graníticos a sienograníticos, granolepidoblásticos de granulação média e biotita <i>augen</i> gnaisses graníticos de granulação grossa a muito grossa, leucocráticos e cinza claros	
		<i>Metagranitoides Cariris Velhos</i>	NP1 γ cv	Talco xistos, serpentinitos, clorita xistos, canga olivínica, formações ferríferas e rochas máficas associadas	
		<i>Suíte Intrusiva Serrote das Pedras Pretas</i>	NP1 μ pp		
	COBERTURAS CONTINENTAIS NEÓGENAS A RECENTES	CENOZÓICO	<i>Depósitos aluvionares e de terraços</i>	N34a	Areias, cascalhos e argilas inconsolidadas; terraços aluvionares lateríticos

Fonte: Adaptado das Folhas Boqueirão SB.24-Z-D-III (2012) e Juazeirinho SB.24-Z-D-II (2018), Escala: 1:100.000, CPRM.

A área do município está inserida na Unidade Geoambiental da Borborema, mais especificamente no compartimento da “Depressão Intraplanáltica Paraibana” definida por Corrêa et al. (2010), caracterizado por uma extensa depressão no interior do Planalto da Borborema a qual, segundo os autores, revela a ausência de uma reativação tectônica mais intensa, pelo que proporcionou o desenvolvimento de feições afeioadas pelos processos denudacionais. Localmente, se apresenta como um relevo de amplas colinas suaves separadas por extensos vales aplainados (Figura 5).

Figura 5: Geomorfologia (Escala: 1:250.000) do município de Gurjão, Cariri da Paraíba, Brasil.



Fonte: MDT – ALOS PALSAR (2017) e IBGE (2018). Elaborado pelo autor, 2020.

Conforme o mapa da Figura 5, a geomorfologia do município de Gurjão faz parte da unidade denominada de Pediplano Central do Planalto da Borborema (IBGE, 2018), que está disposta da seguinte forma:

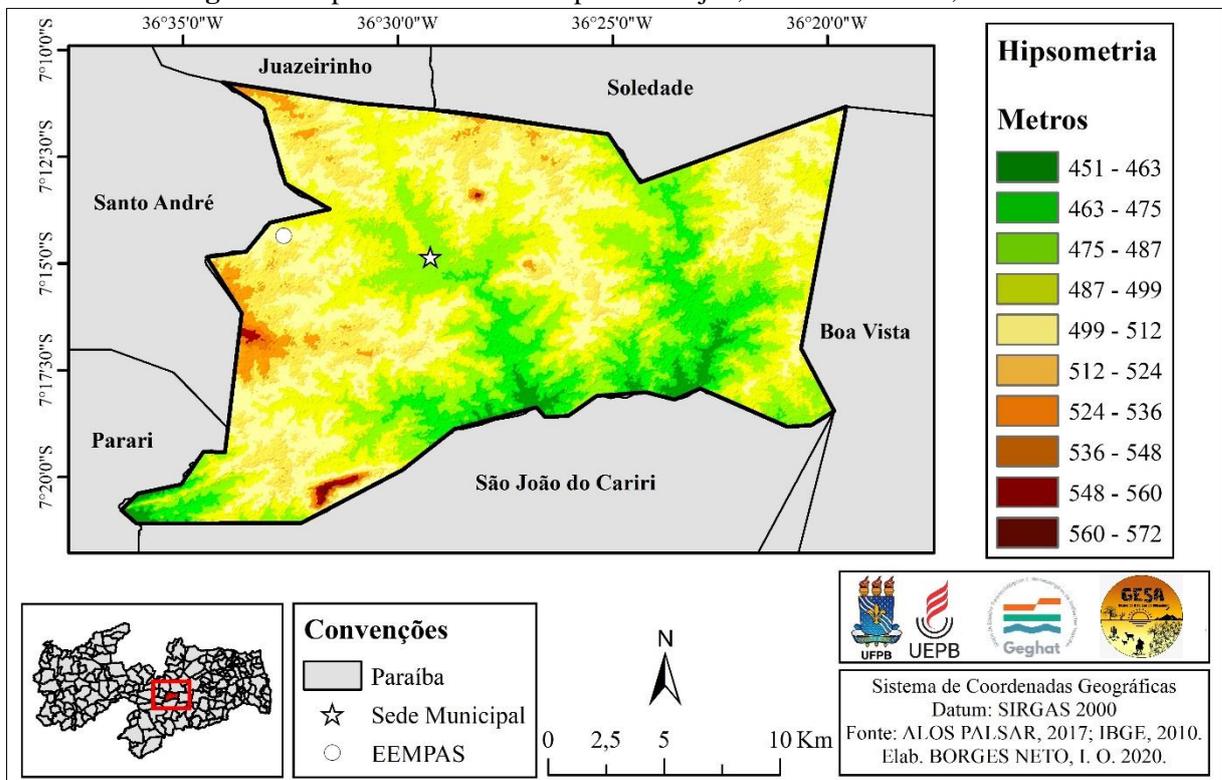
- **230Dt21:** Essa unidade corresponde a cerca de 319,2 km², ou seja, 93,7 % da extensão territorial do município, com relevo aplainado, representado por morros pouco e levemente ondulados, apresenta ambiente com baixa densidade de drenagem

e com dissecação homogênea e/ou diferencial. Vale salientar que é nessa unidade geomorfológica que a EEMPAS está posicionada;

- **230Dc22:** A segunda maior unidade com cerca de 19,8 km², representando 5,8%, semelhante a unidade anterior, apenas difere em formato, contendo topo de forma convexa;
- **230Pgi:** Sendo a menor unidade, abrange apenas 1,55 km², que significa 0,5%, expõe formato de morro em uma área de aplainamento, além de ser o ambiente de maior elevação no território do município.

De acordo com essas informações, fica evidente que o relevo da região é representado pela feição de aplainamento, com ocorrência de ondulações suaves a moderadas, e com dissecação moderada a regular. A hipsometria da área territorial de Gurjão (Figura 6), apresenta uma diferença altimétrica de 121 metros, com as menores altitudes ao Sul (S) e extremo Sudoeste (SW), a parte central do terreno comporta as altitudes intermediárias entre 475 a 512 metros, e por fim as altitudes mais elevadas são representadas por afloramentos rochosos, localizados ao Sudoeste (SW), ao Oeste (W) e ao Noroeste (NW).

Figura 6: Hipsometria do município de Gurjão, Cariri da Paraíba, Brasil.



Fonte: ALLOS PALSAR (2017) e IBGE (2010). Elaborado pelo autor, 2020.

A EEMPAS fica posicionada no último terço de uma encosta, essa que tem uma altitude no topo de 526 metros, já as parcelas hidro-erovisas sobre o Neossolo Regolítico (PNR) e Luvisolo Crômico (PLC), ficam respectivamente a 511 e 512 metros de altitude. Em relação à distância para o topo da encosta, as PNR, ficam a 350 metros e as parcelas PLC, ficam a 282 metros, com uma inclinação média (partindo da encosta até as parcelas) de 10,8°, para todas as parcelas. Salienta-se que no local das parcelas a inclinação do terreno é de 5°.

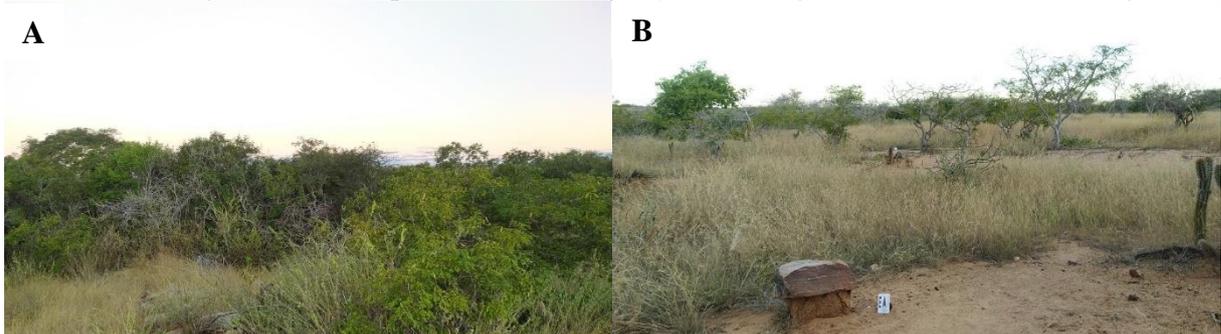
De acordo com BRASIL (1972), as classes de solos existentes no território do município de Gurjão, estão distribuídas da seguinte forma: os Luvisolos Crômicos ocupam maior parte representando 74% da área territorial, os Neossolos Litólicos ocupam 20%, os Neossolos Flúvicos 5% e os Planossolos apenas 0,2%. Em ambientes elevados ocorrem solos Neossolos Litólicos, rasos, de textura argilosa e fertilidade natural média (CPRM, 2005).

Nas superfícies levemente onduladas a onduladas, ocorrem Luvisolos Crômicos, que são mais profundos e de fertilidade natural média a alta. E nos vales de rios e riachos, ocorrem os Planossolos, medianamente profundos, imperfeitamente drenados, textura média/argilosa, moderadamente ácidos, fertilidade natural alta e problemas de sais, com ocorrências de afloramentos rochosos (BRASIL, 1972; CPRM, 2005).

Segundo a classificação climática de Köppen (1928) o clima é tropical quente e seco do tipo semiárido (*Bsh*), com temperaturas médias anuais de 26°C, sendo a insolação média anual de 2.800 horas, e o período chuvoso da região está distribuído entre os meses de janeiro a abril (NASCIMENTO; LIMA; LIMA, 2014).

A vegetação está representada pela Caatinga hiperxerófila (BRASIL, 1972; SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017), exibindo ambientes onde a vegetação mostra-se esparsa com árvores arbustivas de pequeno a médio porte, vegetação rasteira de troncos retorcidos, e ao mesmo tempo é perceptível áreas com predomínio de árvores de médio a grande porte chegando a 20 metros de altura, nas margens de canais fluviais (de difícil acesso), ambas com a presença corriqueira das cactáceas e bromeliáceas (Figura 7 – A e B).

Figura 7: A) Vegetação melhor preservada; B) Vegetação mais degradada. Sítio Pascácio, Gurjão-PB.



Fonte: Acervo do autor, em julho de 2020.

Dentro do território em destaque, visualiza-se áreas que estão em processo avançado de desertificação, originado principalmente por intervenções antrópicas de forma intensiva e desordenada (extração vegetal, queimadas, pastoreio sem pousio, entre outras práticas), causando sérios problemas ambientais, como por exemplo a erosão dos solos e assoreamento dos canais fluviais e reservatórios.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos desta pesquisa foram baseados na literatura nacional e internacional, sobre a dinâmica hidro-erosiva em regiões semiáridas. Contudo para alcançar os objetivos propostos dividiu-se o estudo nas seguintes etapas: caracterização e classificação dos solos onde foram posicionadas as parcelas hidro-erosivas; instalação e monitoramento de 4 parcelas hidro-erosivas; análise dos sedimentos (quantitativa e qualitativa); instalação de infiltrômetros de anel, para realização de ensaios de infiltração; e, análise estatísticas dos resultados mensurados.

5.1 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS DAS PARCELAS HIDRO-EROSIVAS

Para se compreender melhor a susceptibilidade à erosão dos solos onde foram alocadas as parcelas hidro-erosivas, optou-se por analisar os elementos intrínsecos a cada solo (como: classe, morfologia, textura, atributos físicos e químicos), por meio da caracterização e classificação das classes de solos, baseado no *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (SiBCS, 2018).

5.1.1 Trabalho de campo e coletas das amostras dos solos

O trabalho de campo foi realizado conforme o *Manual Técnico de Pedologia* do IBGE (2015), que é voltado para atividades de descrição e coleta de amostras de perfis de solo. Dessa forma, a descrição morfológica e coleta de amostras dos perfis de solo, se deu após a abertura manual (realizada com ferramentas como chibanca, alavanca e pá) das trincheiras de perfis completos.

Foram abertos 2 perfis completos (um para cada solo) com cerca de 1 metro de distância das parcelas. Após a abertura dos dois perfis, realizou-se a descrição morfológica (SiBCS, 2018). Essa descrição serviu para compreender o registro das suas características, através do estudo e do exame do seu perfil em seu meio natural.

Primeiramente realizou-se uma descrição geral dos aspectos de paisagem apresentando observações sobre situação, declive, cobertura vegetal, altitude, litologia, unidade litoestratigráfica, material originário, uso atual, relevo local, relevo regional, drenagem, erosão, pedregosidade, rochosidade e vegetação original.

Em seguida foram feitas as seguintes descrições morfológicas para cada perfil de solo: delimitação dos horizontes (Quadro 4; Figura 8 – A e B); identificação e registro das características morfológicas de cada um individualmente; caracterização da transição entre eles; profundidade e espessura; cor (através da carta de *Munssell*); textura; cascalhos; estrutura; cerosidade; consistência; juntamente com a quantidade e tamanho dos poros e das raízes.

Só após a descrição morfológica dos perfis de solo, procedeu-se à coleta das amostras. No total foram coletadas 16 amostras (uma para cada horizonte), sendo 8 para análises de rotina (físicas e químicas - cerca de 200 g de material para cada amostra), e 8 amostras indeformadas, para análise da densidade do solo (DS), densidade partículas (DP) e porosidade total (PT), com o auxílio do anel volumétrico (100 cm³) (Quadro 4; Figura 8 – C e D).

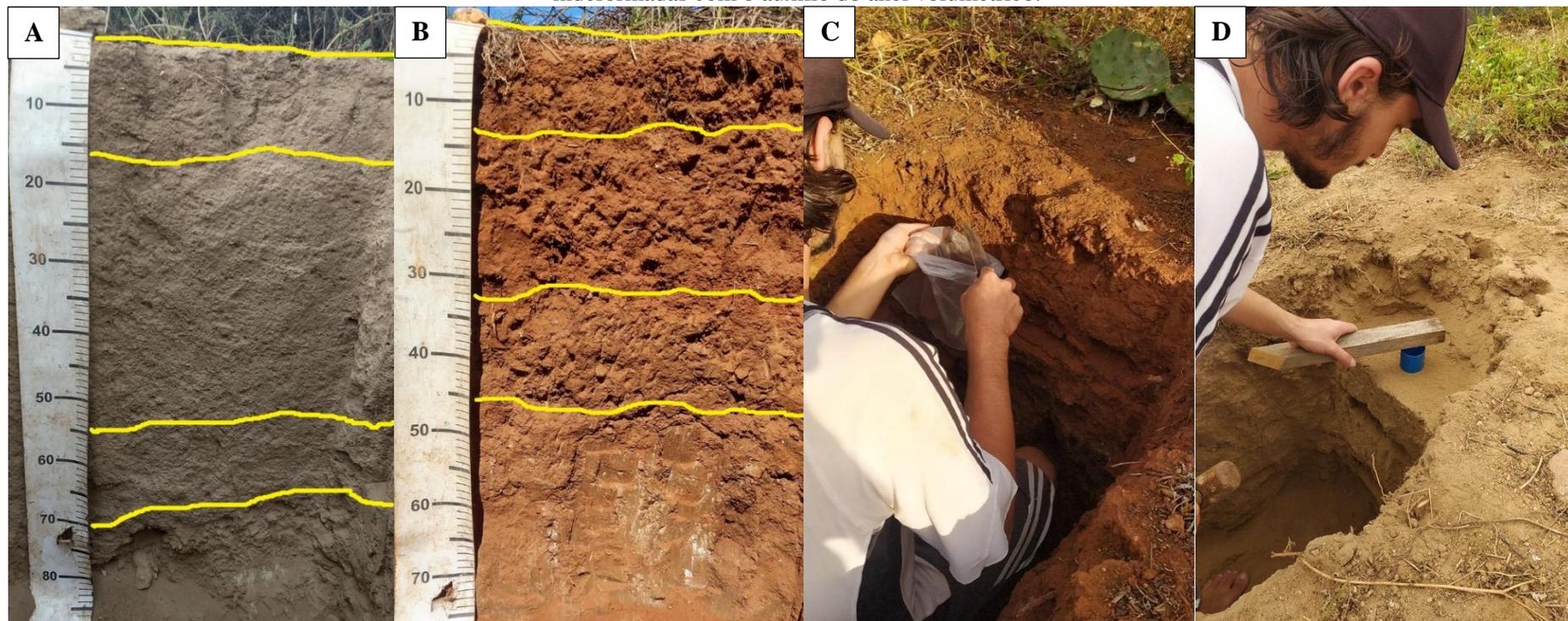
Essas amostras foram colocadas em recipientes apropriados (nesse estudo utilizou-se sacos plásticos) e enviadas ao laboratório para serem submetidas às análises, no menor espaço de tempo possível, objetivando evitar alterações de algumas de suas características. Além disso, foi enviado a relação das amostras coletadas com especificação dos tipos de análises a serem realizadas e a descrição morfológica completa dos perfis de solos (de acordo com, SiBCS, 2018), para facilitar o trabalho laboratorial.

Quadro 4: Informações gerais sobre as coletas das amostras de solo em campo.

Perfis	Localização		Parcelas	Solos	Hor.	Prof. das Coletas (cm)	Quantidade de Coletas	
	Latitude (S)	Longitude (W)					Rotina (Física e Química)	Anel Volumétrico
1	07° 14' 19,7"	36° 32' 39,6"	PNRPal PNRPou	Neossolo Regolítico	A1	0-16	1	1
					A2	16-54	1	1
					CA	54-70	1	1
					C	70-80	1	1
2	07° 14' 24,4"	36° 32' 40,8"	PLCPal PLCPou	Luvissolo Crômico	A	0-13	1	1
					AB	13-32	1	1
					Bt ₁	32-45	1	1
					Bt ₂	45-75	1	1

Hor. Horizontes.

Figura 8: A e B) Perfis completos dos solos e seus horizontes; C) Coleta de amostras para análise de rotina (físicas e químicas); e D) Coleta de amostras indeformadas com o auxílio do anel volumétrico.



Fonte: A e B) Foto de José Souza, julho de 2019; C e D) Acervo de Glória Borges, julho de 2020.

5.1.2 Análises laboratoriais

As análises laboratoriais foram aquelas consideradas de rotina (físicas e químicas), onde para todas os horizontes identificados nos dois perfis de solos. As análises físicas permitiram identificar as seguintes características: a granulometria (frações de areia grossa, areia fina, silte e argila – classe textural); a argila dispersa em água (ADA); a densidade do solo; a densidade de partículas e a porosidade total.

Nas análises químicas encontrou-se os seguintes elementos: pH em água (H₂O); pH em cloreto de potássio (KCl); ΔpH (pH KCl - pH H₂O); Fósforo (P); Potássio (K); Sódio (Na); Cálcio (Ca²⁺); Magnésio (Mg²⁺); Alumínio (Al³⁺); acidez potencial, ou seja, Hidrogênio mais Alumínio (H + Al); soma das bases trocáveis (SB); capacidade de troca catiônica efetiva (t); capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T); índice de saturação por bases (V); índice de saturação por Alumínio (m); índice de saturação por Sódio (ISNa); Carbono (C); Nitrogênio (N); relação Carbono e Nitrogênio (C/N) e Fósforo remanescente (P-Rem).

Sendo assim, as etapas de descrição, classificação, caracterização, coleta e posteriores análises laboratoriais, dos solos das parcelas hidro-erosivas, contou com o total apoio e participação do Prof. Dr. José João Lelis Leal de Souza (UFV-UFPPB). Todas as análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – (UFV) Minas Gerais. Essa parceria, favoreceu o entendimento de cada classe solo (suas propriedades), e como elas podem reagir aos processos erosivos, estando sujeitos às mesmas variáveis, principalmente em relação aos diferentes tipos de usos.

A partir do conjunto de procedimentos realizados e seus posteriores resultados, foi possível compreender como cada classe de solo se comporta perante a dinâmica hidro-erosiva superficial da região semiárida do Cariri paraibano, especificamente da zona rural do município de Gurjão, pois tais informações são essenciais para compreender à resiliência do ambiente.

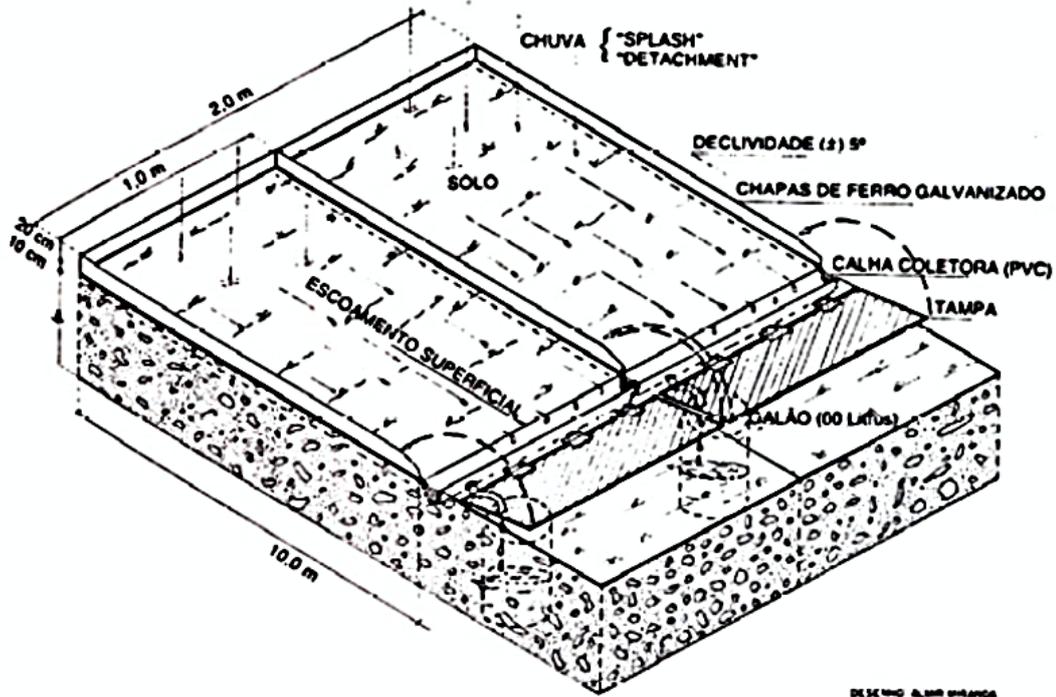
5.2 PARCELAS HIDRO-EROSIVAS

Para a mensuração das perdas de solo e água foram instaladas parcelas de escoamento superficial ou parcelas hidro-erosivas, conforme exposto por Guerra (2005). Essas parcelas possuem uma área, geralmente de 10 m², onde toda água da chuva que cair dentro das parcelas escoará para uma calha/reservatório no final da parcela (Figura 9). E dessa maneira, serão mensuradas as taxas de escoamento superficial e a quantidade de sedimentos transportados.

Essas parcelas hidro-erosivas fazem parte da EEMPAS. No total estão posicionadas 4 parcelas, sendo divididas em dois locais que apresentam os solos mais comuns na região (*Neossolos* e *Luvissolos*), onde foram abertas duas trincheiras para classificação dos solos das parcelas e com os seguintes usos: *cultura da palma* (PNRPal - PLCPal) e *pousio* (PNRPou - PLCPou), como expostos no Quadro 5.

Esses tipos de uso e cobertura foram selecionados com a proposta de analisar o papel da influência humana (com o cultivo da cultura da palma) no solo, com também de sua não interferência (com o pousio). As declividades de ambos os terrenos são inferiores a 5°, porque o objetivo é avaliar a influência dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo na produção do escoamento superficial e a erosão.

Figura 9: Modelo esquemático representando as parcelas hidro-erosivas.



Fonte: Guerra (2005).

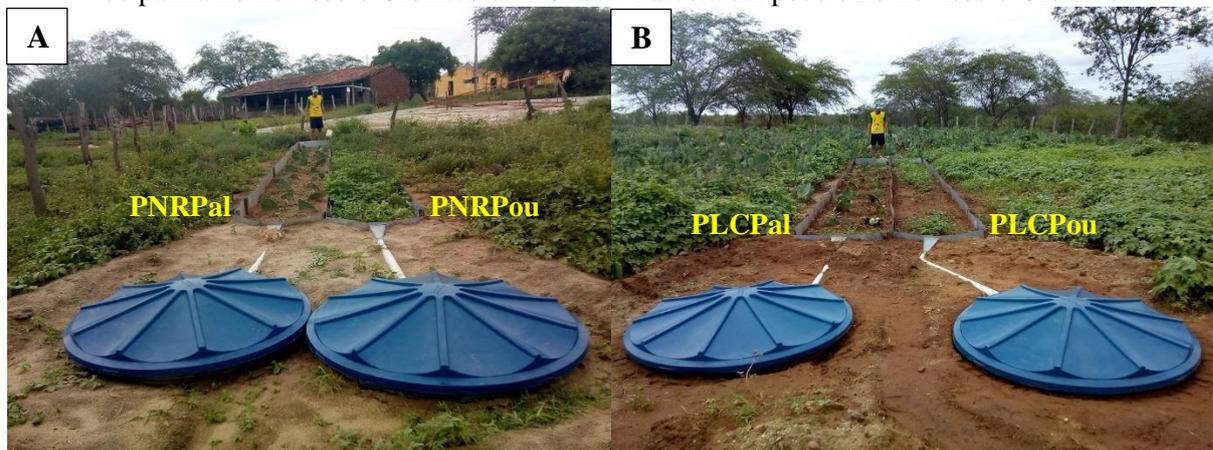
Quadro 5: Características gerais das parcelas hidro-erosivas da EEMPAS.

Parcelas	Solos	Usos
PNRPal	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico leptico	Cultura da Palma
PNRPou	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico leptico	Pousio
PLCPal	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico	Cultura da Palma
PLCPou	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico	Pousio

O plantio da palma foi feito transversalmente a direção da inclinação da encosta buscando representar um cultivo em curva de nível, com o intuito de aumentar as rugosidades do terreno, já as parcelas em pousio estão sem nenhum tipo de intervenção (Figura 10 – A e B).

O manejo e a manutenção das parcelas foram realizados diariamente, valendo ressaltar que foi feita a chamada “limpa” (limpeza da vegetação rasteira) após alguns dias em que ocorreu as precipitações nas parcelas que contêm a cultura da palma (Figura 10 – A e B), pretendendo aqui eliminar a interferência de outros elementos que não fossem o cultivo da palma e também a tentativa de simular um cenário mais próximo da realidade que é o manejo desse tipo de cultura por parte dos agricultores da região em destaque.

Figura 10: Parcelas hidro-erosivas. A) PNRPal - Parcela com cultivo de palma no Neossolo Regolítico e PNRPou - Parcela em pousio no Neossolo Regolítico; B) PLCPal - Parcela com cultivo de palma no Luvissole Crômico e PLCPou - Parcela em pousio no Luvissole Crômico.



Fonte: Acervo de Tiago Borges, em março de 2019.

O período de coleta de dados dessa pesquisa é referente ao período de 01 de março de 2019 até o dia 31 de dezembro de 2020, ressaltando que as coletas efetivas de materiais nos reservatórios foram a partir de 24 de março de 2019, pois o período anterior ao início da pesquisa está relacionado ao processo de instalação (do pluviômetro digital, das parcelas hidro-erosivas e plantio da palma) e de ajustes de todos os equipamentos aqui utilizados.

As coletas de água e sedimentos nos reservatórios foram feitas no dia seguinte após os eventos chuvosos. Essas coletas foram realizadas de maneira padronizada (Figura 11 – E), onde foi feita a homogeneização nos próprios reservatórios (Figura 11 – B), com o intuito de obter amostras representativas (geralmente de 2 a 4 litros por parcela) para coar/separar em filtros de papel o solo erodido da água (Figura 11 – F) e posteriormente secar esse solo erodido, e em seguida fazer a pesagem desse material (Figura 11 – G), e conforme a quantidade observada,

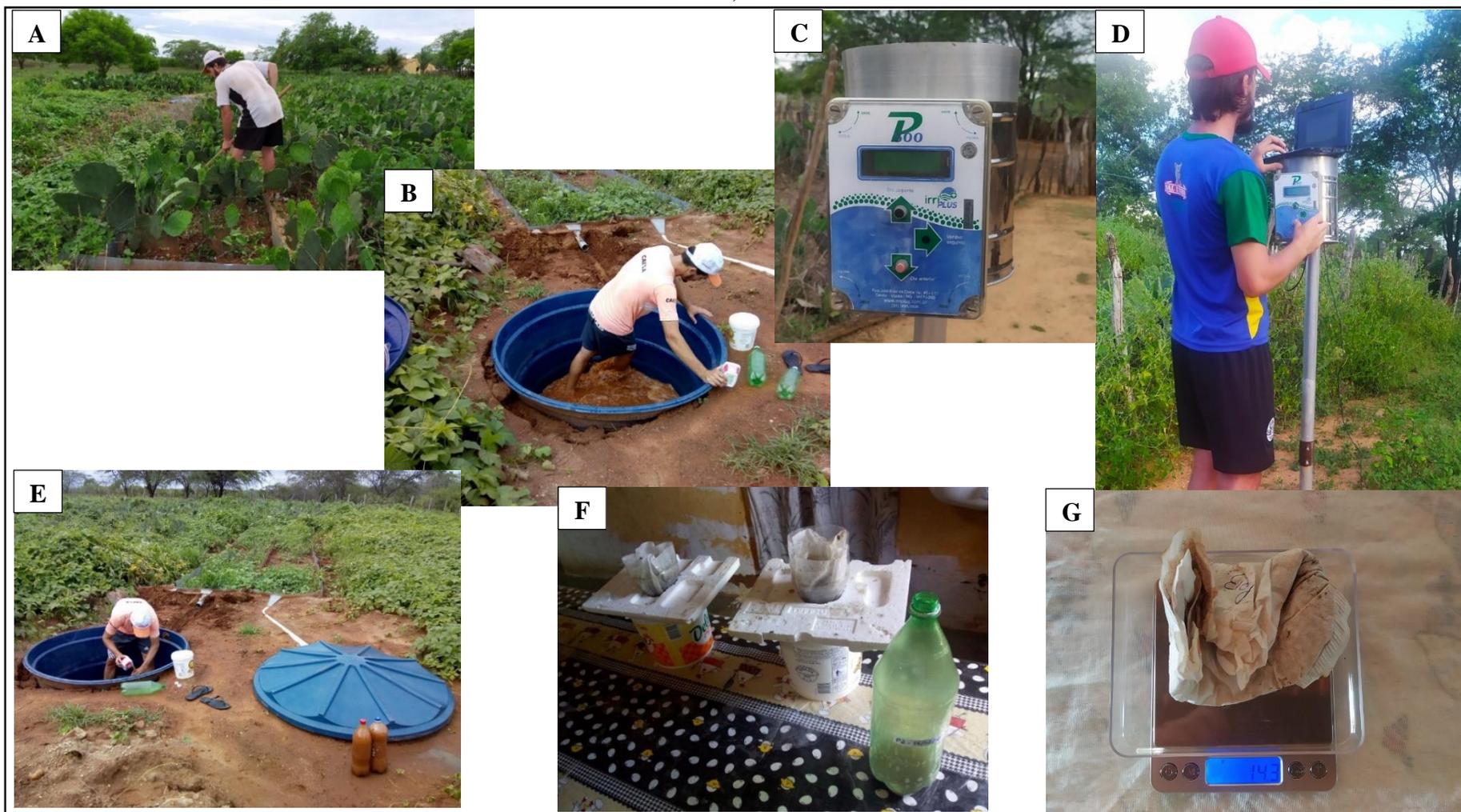
estima-se uma média de perda de solo para cada evento chuvoso e parcela (Figura 11 – A, B, C, D, E, F e G).

Também foi instalado um pluviômetro digital, modelo P-300 da Irriplus (Figura 11 – C e D), para mensurar as entradas de chuva nas parcelas hidro-erosivas. Dessa forma, foram calculadas, a porcentagem de produção de escoamento superficial, e a produção de sedimentos em gramas por litro. Após esse período de coleta de dados se fez o cálculo de produção de sedimentos em $\text{kg/m}^2/\text{ano}$ e depois converteu-se para toneladas/hectare/ano ($\text{t/ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), por meio de extrapolação dos dados.

O pluviômetro além de mensurar a quantidade diária de precipitação, também fornece dados horários (de hora em hora), possibilitando o cálculo da intensidade da chuva (quantidade/tempo – mm/h). Ressalta-se que por problemas técnicos com o pluviômetro, só foi possível obter os dados horários referentes ao período do final de fevereiro até abril de 2020.

Para a intensidade máxima da precipitação, foi considerado a maior quantidade acumulada de chuva em milímetros registrada em 1 hora. Já para calcular a intensidade média da precipitação, considerou-se chuvas acima de 1 milímetro e que ocorreram por mais de uma hora seguida, dessa forma somou-se todos os valores seguidos que representam o mesmo evento chuvoso, e logo após o somatório do volume dividiu-se pelo número de horas.

Figura 11: A) Limpeza/manutenção das parcelas com a cultura da palma; B) Homogeneização do material antes da coleta; C) Pluviômetro digital; D) Coleta de dados do pluviômetro; E) Coleta de amostras para coar/separar o solo erodido; F) Coagem do solo presente nas amostras; G) Pesagem do solo coado das amostras, na EEMPAS.



Fonte: Figura 9 - A e D: Acervo de Vicente Borges Filho, A) em fevereiro e D) em maio de 2020; B e E: Acervo de Glória Borges, em março de 2019; C, F e G: Acervo do autor, em maio de 2020.

5.3 ANÁLISE DOS SEDIMENTOS

Os sedimentos coletados em todas as parcelas, depois de secos e pesados, foram sendo guardados até que fosse possível juntar material suficiente (em termos de quantidade) para enviar ao laboratório. Ressalta-se que todo material coletado de cada parcela, passou por um processo de homogeneização, com o intuito de acumular mais material para as análises e fornecer um panorama geral de quais são os principais materiais que estão sendo carreados pelos processos erosivos.

As análises laboratoriais (físicas e químicas) dos sedimentos, consistiram na identificação da granulometria (frações areia grossa, areia fina, silte e argila – classe textural) e dos teores de Carbono (C) e Nitrogênio (N). Não foi possível determinar a quantidade de Fósforo (P) dos sedimentos por insuficiência de material coletado. Algo semelhante ocorreu para os sedimentos da parcela PNRPou, sendo apenas determinado os teores de C e N dos sedimentos.

O conhecimento da quantidade e qualidade (principalmente os teores de argila, C e N), dos sedimentos coletados são fundamentais para entender os impactos (ambientais e sociais) que podem vir a se desenvolver, na região em destaque. A partir das análises dos sedimentos é possível inferir como as diferentes classes de solo se comportam, à medida que ocorre mudança nos usos/manejos e/ou coberturas perante a dinâmica hidro-erosiva.

5.4 ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

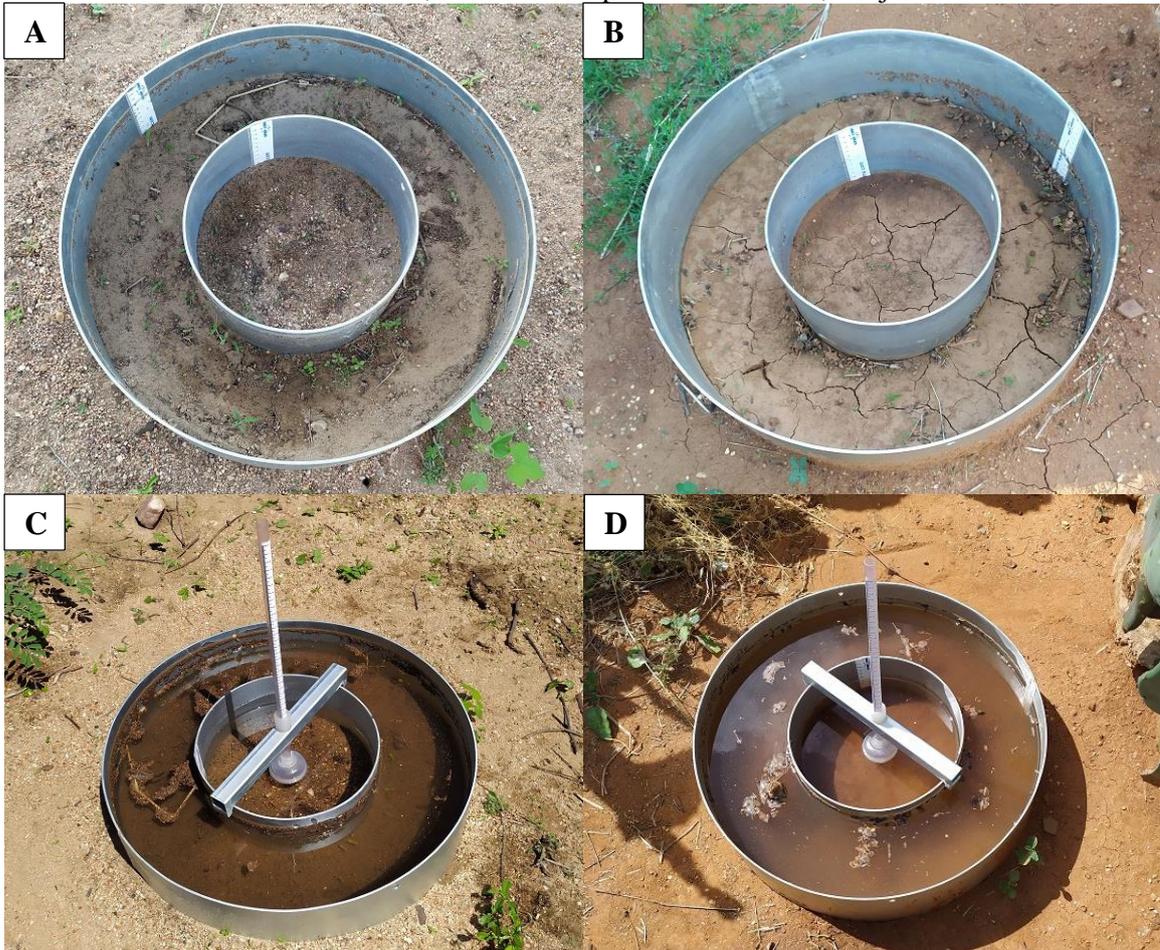
Para a mensuração da Velocidade de Infiltração Básica (VIB) de cada classe de solo, onde ficaram implantadas as parcelas hidro-erosivas, foi posicionado infiltrômetros de anel, com cerca de 3 metros de distância das parcelas, com a proposta de realizar ensaios de infiltração uma vez por mês. Essa ideia é difundida nessa pesquisa com o objetivo de analisar a variação da VIB da água para diferentes épocas do ano, e como a influência da umidade antecedente pode interferir nesse processo.

Os equipamentos instalados são da *SONDATERRA*, compostos por dois anéis (50 e 25 cm de diâmetro e 30 cm de altura), que foram instalados de forma concêntrica, enterrados 15 cm (Figura 12 – A e B). As medidas de infiltração são feitas no anel interno, pois o anel externo tem a finalidade de bordadura, impedindo que a infiltração ocorra no sentido lateral do solo.

Os ensaios de infiltração foram padronizados (Figura 12 – C e D), com o tempo de duração de uma hora (01:00:00h), realizados em todo o ano (jan-dez) de 2020, para cada classe

de solo. Esse trabalho de mensuração é uma adaptação dos estudos de Guerra (2007 e 2011), do IBGE (2015) e do próprio manual de instruções do infiltrômetro de anel, fornecido no site oficial da *SONDATERRA* (<http://www.sondaterra.com>).

Figura 12: A) Infiltrômetro posicionado no Neossolo Regolítico; B) Infiltrômetro posicionado no Luvisolo Crômico; C) Ensaio de infiltração no Neossolo Regolítico; D) Ensaio de infiltração no Luvisolo Crômico, ambos fazem parte da EEMPAS, Gurjão-PB.



Fonte: Acervo do autor, em janeiro de 2020.

Para se chegar a VIB, tem-se que calcular a Velocidade de Infiltração Instantânea aproximada (VIIa), conforme a equação abaixo:

$$VIIa = Ia / T$$

I = Infiltração acumulada

T = Tempo

Para facilitar a compreensão, a seguir observa-se um exemplo de ensaio de infiltração no Quadro 6, onde tem-se que a Velocidade de Infiltração Inicial (VII) é de 180 mm/h, dessa

forma a VIIa, com o passar do tempo tende a diminuir, e quando estabiliza (repetição dos resultados), se obtêm a VIB = 90 mm/h.

Quadro 6: Avaliação da infiltração pelo método do infiltrômetro de anel.

Tempo		Régua		Infiltração acumulada (I) (mm)	Velocidade de Infiltração (VIIa) (mm/h)
Minutos	Intervalo	Leitura (mm)	Diferença (mm)		
00:00	5	200	0	0	0
05:00	5	185/200	15	15	180
10:00	5	187/200	13	28	156
15:00	5	189/200	11	39	132
20:00	5	190/200	10	49	120
30:00	10	182/200	18	67	108
40:00	10	185/200	15	82	90
50:00	10	185/200	15	97	90
01:00:00	10	185/200	15	112	90

5.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os valores obtidos com o monitoramento das parcelas hidro-erosivas passaram por análises de regressão referentes ao coeficiente de determinação R^2 . Esta análise de regressão linear permite identificar o quanto a variável dependente (eixo Y) é afetada pela variável independente (eixo X) incluídas no modelo linear. O valor do R^2 varia de 0 – 1 em termos percentuais, ou seja, quanto mais próximo de 1 melhor a variável dependente é explicada pela variável independente, o contrário ocorre quanto mais próximo de 0.

Os modelos de regressão que geram o coeficiente de determinação (R^2) foram obtidos com o tratamento dos dados no Microsoft Office Excel 365. Para esta análise de regressão elabora-se um gráfico de dispersão entre os dados que se quer analisar e adiciona-se a linha de regressão, com seu respectivo valor.

A seguir no Quadro 7, observa-se as correlações estatísticas realizadas nessa pesquisa:

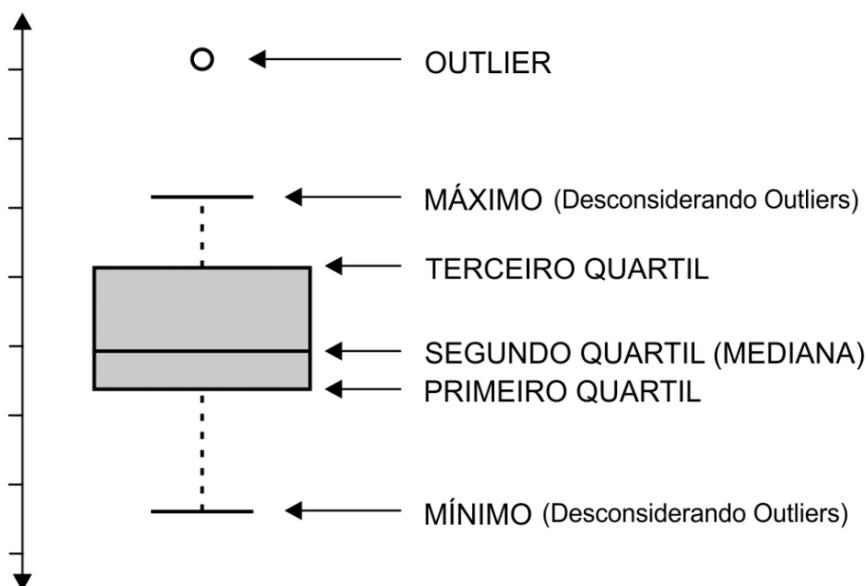
Quadro 7: Correlações feitas a partir do cálculo do coeficiente de determinação (R^2).

Figuras/ Gráficos	Período dos dados	Variáveis Independentes (eixo X)	Variáveis Dependentes (eixo Y)	Parcelas analisadas
Figura 19	Mar/2019-Dez/2020	Precipitação	Escoamento	Todas
Figura 20	Mar/2019-Dez/2020	Precipitação	Escoamento	Todas
Figura 21	Mar/2019-Dez/2020	Precipitação	Escoamento	Todas
Figura 23	2020	Intensidade da Precipitação - Média	Escoamento	PNRPal, PLCPal e PLCPou

Figura 23	2020	Intensidade da Precipitação - Máxima	Escoamento	PNRPal, PLCPal e PLCPou
Figura 24	2019	Precipitação	Erosão	Todas
Figura 24	2019	Escoamento	Erosão	Todas
Figura 24	2020	Precipitação	Erosão	Todas
Figura 24	2020	Escoamento	Erosão	Todas
Figura 25	Mar/2019-Dez/2020	Precipitação	Erosão	Todas
Figura 25	Mar/2019-Dez/2020	Escoamento	Erosão	Todas
Figura 26	Mar/2019-Dez/2020	Precipitação	Erosão	Todas
Figura 26	Mar/2019-Dez/2020	Escoamento	Erosão	Todas
Figura 27	Mar/2019-Dez/2020	Precipitação	Erosão	Todas
Figura 27	Mar/2019-Dez/2020	Escoamento	Erosão	Todas
Figura 28	2020	Intensidade da Precipitação - Média	Erosão	PNRPal, PLCPal e PLCPou
Figura 28	2020	Intensidade da Precipitação - Máxima	Erosão	PNRPal, PLCPal e PLCPou

Para a análise dos ensaios de infiltração, foi elaborado *box plots* (Figura 13). Preferiu-se utilizar esse tipo de gráfico, pois ele possibilita a sintetização de várias informações relativas à distribuição de uma determinada variável quantitativa em uma mesma figura (PINHEIRO et al., 2009). E ainda dá uma ideia da posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes (MORETTIN; BUSSABI, 2010). O *box plot* é formado pelas estatísticas descritivas como o mínimo, máximo, primeiro quartil, segundo quartil ou mediana e o terceiro quartil (Figura - 13).

Figura 13: Esquemática de um gráfico *box plot*.



Fonte: Oliveira (2019).

A Figura 13, exemplifica a distribuição das informações em um gráfico *box plot*. Observa-se que o local onde a haste vertical começa (de baixo para cima) indica o mínimo (excetuando algum possível valor extremo ou *outlier*) e, onde a haste termina indica o máximo (também excetuando algum possível *outlier*).

O retângulo no meio dessa haste possui três linhas horizontais: a linha de baixo, que é o próprio contorno externo inferior do retângulo, indica o primeiro quartil, a de cima, que também é o próprio contorno externo superior do retângulo, indica o terceiro quartil e a linha interna indica o segundo quartil ou mediana. Já os asteriscos ou pontos que porventura aparecem no *box plot*, indicam que aquelas observações são valores discrepantes, extremos ou *outliers*.

De modo geral, enquanto maior for o retângulo, maior será a variabilidade dos dados, já quando o retângulo for menor, menor será a variabilidade dos dados, pois ele representa o valor interquartílico que não utiliza nos seus cálculos os *outliers*.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 USO E COBERTURA DAS PARCELAS HIDRO-EROSIVAS

O manejo e cobertura das parcelas hidro-erosivas, foram selecionadas com base no histórico de utilização da área onde está localizada a EEMPAS. Por meio do debate científico e o diálogo com os proprietários do terreno onde está posicionada a EEMPAS, optou-se pela escolha de dois usos distintos, sendo eles: cultura da *palma forrageira* e *pousio*, com o objetivo de comparar os resultados tanto entre si (das parcelas colocadas na mesma classe de solo), como também analisar o papel dos mesmos usos em classes de solo diferentes.

Dessa forma elegeu-se a cobertura da cultura da *palma forrageira*, que é uma cactácea extremamente importante para o desenvolvimento da pecuária no Semiárido do Brasil, por fornecer forragem em períodos de estiagem e escassez de alimentos aos animais, por se tratar de uma cultura permanente, que não exige tantos cuidados como outras culturas (por exemplo: cultura do milho, feijão e algodão), e também por ser uma cultura representativa estando presente espacialmente em grandes áreas de quase todas as propriedades rurais da região, principalmente quando refere-se ao município de Gurjão-PB.

A historicidade do cultivo de palma forrageira na zona semiárida brasileira esteve atrelada ao desenvolvimento da pecuária⁷, tal fato se deve a capacidade dessas cactáceas em resistir as intemperes existentes nessa região (ARAÚJO et al., 2019). Segundo o INSA (2016), a implantação da cultura da palma no semiárido brasileiro, data do final do século XIX e início do século XX, por Delmiro Gouveia, na zona semiárida alagoana, através do cultivo da palma *Doce*, *Miúda* ou *Santa* (*Nopalea cocheniliifera*), mas somente a partir anos de 1930, é que parecia ter-se encontrado a espécie tão próspera – a palma forrageira.

A espécie de palma implantada nas parcelas é a *Opuntia stricta* Haw, conhecida popularmente como Palma Orelha de Elefante Mexicana e/ou Palma Orelha de Elefante. A escolha na utilização dessa espécie de cactácea forrageira está diretamente relacionada com o cotidiano da região estudada, pois logo após a dizimação dos antigos campos de palma, com o

⁷ Retifica-se que a palma foi introduzida no Brasil primeiramente com objetivo de criação da *Cochonilha-do-Carmim*, para produção de corante (algo que não obteve êxito), passando a ser cultivada em alguns locais como planta ornamental, mas, no início do século XX, um fazendeiro, no município da Pedra, Pernambuco, observou que a palma era consumida por bovinos, e a partir desse acontecimento ficou conhecida como forrageira, sendo hoje um dos principais alicerces do desenvolvimento da pecuária na região semiárida brasileira (INSA, 2016).

advento da praga da *Cochonilha-do-Carmim* (*Dactylopius opuntiae* Cockrell)⁸ em grande parte do Semiárido brasileiro, órgãos como o Instituto Nacional do Semiárido (INSA), buscaram a revitalização das áreas devastadas por essa praga, por meio da utilização e implantação de espécies de palmas forrageiras resistentes a infestação em questão.

Sabendo disso, tem-se que o uso e cobertura de pousio, refere-se a um ambiente que está em “descanso”, ou seja, significa que essa área que já foi utilizada de diversas formas e/ou vezes (por exemplo, agricultura e pecuária), não está sofrendo interferência antrópica. Por essa falta de utilização, observou-se nas parcelas da EEMPAS, o desenvolvimento de uma cobertura vegetal bem diversificada, como várias espécies de herbáceas (Jitirana - *Ipomoea nil* e *Distmake aegyptia*; Malva - *Waltheria indica* e *Sida galheirensis*; Olho de Boi - *Canavalia brasiliensis*; Fedegoso - *Heliotropium angustifolium*; Poaia-rasteira ou Pega Menino - *Richardia grandiflora*; Anil ou Anileira - *Indigofera suffruticosa* entre muitas outras espécies), que proporcionam ao solo uma maior proteção dos impactos das gotas das chuvas, do escoamento superficial, da incidência da luz solar, como também elevam a capacidade de infiltração de água no solo, melhoram a estabilidade dos agregados e fornecem matéria orgânica (MO) tanto para o solo como nutrientes às plantas.

Essa prática de pousio é algo que quase não ocorre no Semiárido brasileiro, logo porque muitas das práticas econômicas realizadas nessa região, são de subsistência e as vezes por falta de opção e/ou por falta de conhecimento levam os agricultores a utilizarem de forma intensiva tanto espacial como temporalmente os recursos naturais. Tais práticas levam a rápida degradação ambiental, de um ambiente que para Souza et al. (2004) e Souza (2008) já é ecologicamente instável.

6.2 SOLOS DA EEMPAS

Os solos da EEMPAS, como já mencionado anteriormente, são significativos tanto para a região do semiárido, como para o Cariri paraibano. Na atividade de campo, foi possível classificar morfologicamente as duas classes de solos onde estão locadas as parcelas hidro-erosivas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS, 2018), e

⁸ Esse inseto silvestre *Dactylopius opuntiae* Cockrell, foi introduzido erroneamente no Nordeste do Brasil, acreditando-se que era a cochonilha fina (*Dactylopius coccus* Costa) com a finalidade de produzir corante de carmim (ácido carmínico). Esta praga surgiu no final dos anos 1990 e início dos anos 2000 no estado de Pernambuco e dizimou palmas da espécie *Opuntia ficus indica*, como a “Gigante” e “Redonda”, propagando-se também para os Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e, mais recentemente, Ceará e Bahia. Esta cochonilha é considerada como a praga-chave da cultura, cujas perdas alcançam percentuais acima de 90% nas áreas de cultivo, principalmente pelo fato de tradicionalmente se cultivar uma única espécie de palma (ARAÚJO et al., 2019).

posteriormente com os dados laboratoriais, compreendeu-se as características intrínsecas de cada classe de solo encontrada.

Tabela 1: Descrição geral dos solos da EEMPAS.

Perfil	Classificação do solo (SiBCS)	Coordenadas	Altitude (m)	Descrição geral
1	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico leptico	07° 14' 19,7" S 36° 32' 39,6" W	511	Localizado no terço inferior da encosta de formato côncavo à ligeiramente plano e declividade de 5°. Solo fortemente drenado sem erosão aparente e derivado de gnaisses (Silimanita). Cobertura original de Caatinga Hiperxerófila e uso agropecuário atual.
2	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico	07° 14' 24,4" S 36° 32' 40,8" W	512	Localizado no terço inferior da encosta de formato convexo à ligeiramente plano e declividade de 5°. Solo bem drenado sem erosão aparente e derivado de gnaisses (Anfibolitos e Granada). Cobertura original de Caatinga Hiperxerófila e uso agropecuário atual.

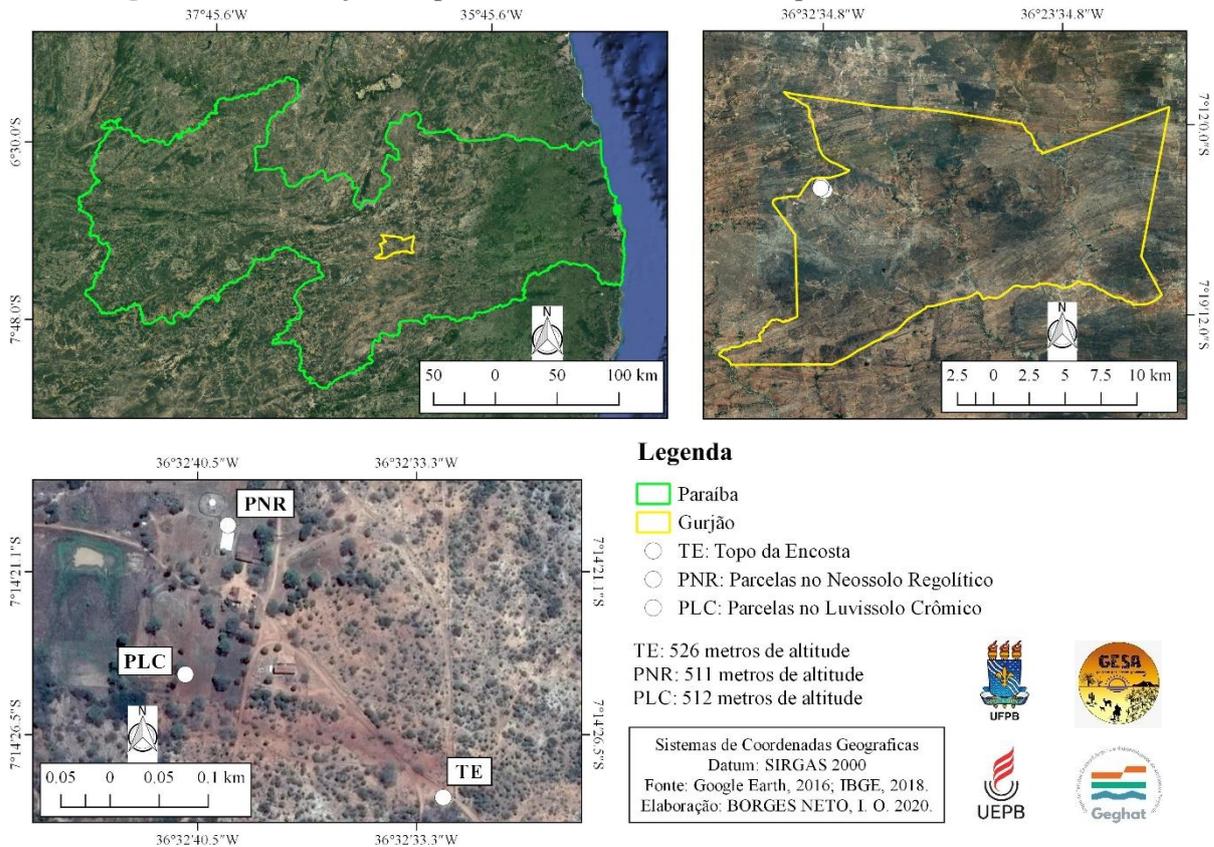
Na classificação realizada em campo identificou-se que, o solo em que estão posicionadas as parcelas PNRPal e PNRPou é um NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico, e o solo onde estão as parcelas PLCPal e PLCPou é um LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico. As descrições gerais dos perfis em destaque, podem ser observados na Tabela 1.

Os perfis ficam localizados na porção do terço inferior da encosta, com declividade de 5° e uma diferença de altitude de apenas 1 metro (Figura 14), apresentando litologia de gnaisses, originários das unidades litoestratigráficas *Complexo São Caetano* (NP1sca) para o Neossolo Regolítico e *Complexo Floresta* (PP2fla)⁹ para o Luvissoilo Crômico, datadas do Paleoproterozóico e Mesoproterozóico (CPRM, 2012; 2018).

O material parental, de ambos os solos, é oriundo de produtos de alteração de rochas metamórficas. A cobertura vegetal originária desses solos era de Caatinga Hiperxerófila, mas com o advento da ocupação e posterior utilização dessa região, hoje a utilização é de cunho agropecuário.

⁹ Mapa Geológico (Figura 3) e Quadro 3, com a descrição geral das litologias, presentes na EEMPAS, conforme a CPRM (2012; 2018).

Figura 14: Localização das parcelas hidro-erosivas e do topo da encosta na EEMPAS.

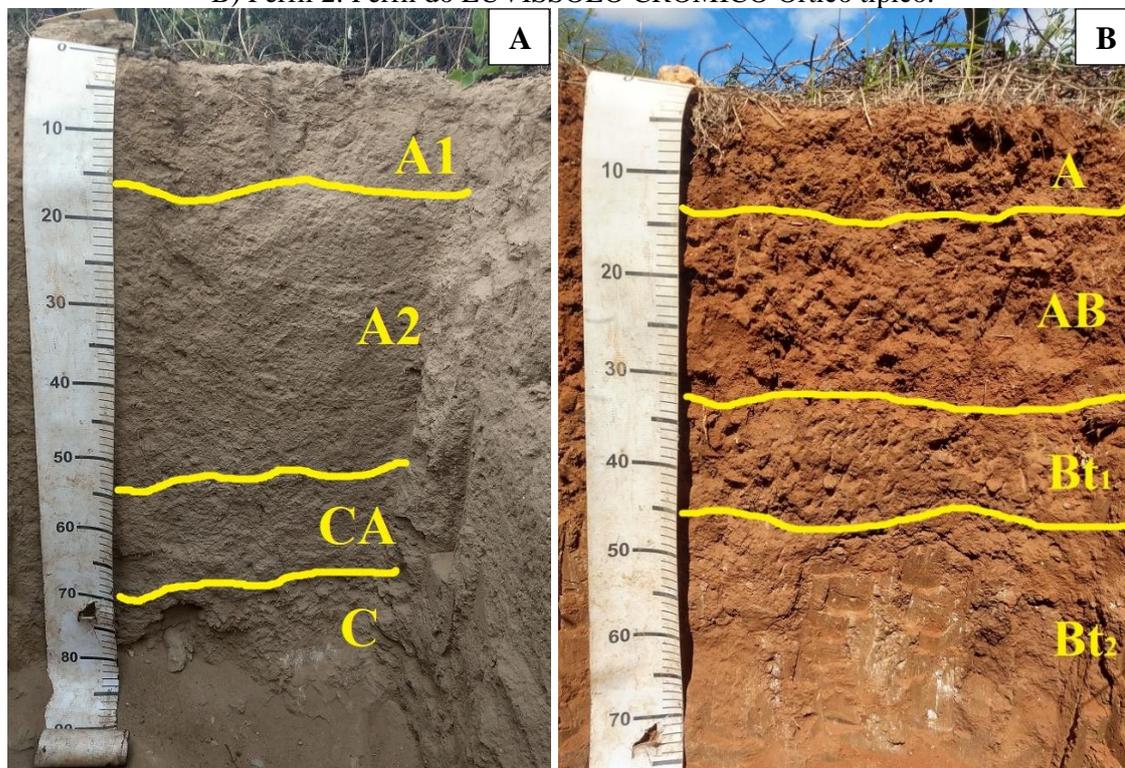


Fonte: Google Earth, 2016; IBGE, 2018. Elaborado pelo autor, 2020.

A descrição morfológica realizada em campo, revelou que o Neossolo Regolítico (Figura 15 – A), possui uma profundidade máxima de 80 cm (abaixo disso é a camada R – rocha), estando dividido em 4 horizontes, sendo eles: A1 de 0-16 cm, A2 de 16-54 cm, CA de 54-70 cm e C de 70-80 cm, já o Luvissole Crômico (Figura 15 – B), possui uma profundidade máxima de 75 cm (abaixo disso tem-se a camada R – rocha), e este também está dividido em 4 horizontes, sendo eles: A de 0-13 cm, AB de 13-32 cm, Bt₁ de 32-45 cm e Bt₂ de 45-75 cm (Tabela 2).

De acordo com o SiBCS (2018), os dois solos são pouco profundos (> 50 cm e ≤ 100 cm de profundidade). No Neossolo Regolítico os horizontes A1, A2 e C apresentam matizes de 10YR e o horizonte transicional CA apresenta um matiz mais clara de 2,5Y, no geral esse solo exhibe uma coloração brunada, já o Luvissole Crômico em seus horizontes AB, Bt₁ e Bt₂, expõem matizes na ordem de 2,5YR, sendo apenas o horizonte A, que detêm um matiz 10R, isso significa dizer que esse solo compreende uma coloração mais cromada/avermelhada, essas são características comuns para essas classes de solos dessa região, como afirmam Araújo Filho et al. (2017) e Cunha et al. (2010) (Tabela 2).

Figura 15: Solos da EEMPAS - A) Perfil 1: Perfil do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico Léptico;
B) Perfil 2: Perfil do LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico.



Fonte: Foto de José Souza, em julho de 2019.

Dentre os horizontes do Neossolo Regolítico, os que apresentam uma coloração mais brunada são o A1 e A2, onde suas cores são respectivamente de 10YR 5/3 (bruno) para a amostra seca e de 10YR 3/2 (bruno acinzentado muito escuro) para a amostra úmida e 10YR 5/3 (bruno) amostra seca e 10YR 3/3 (bruno escuro) amostra úmida, isso pode ser creditado ao teor de matéria orgânica que geralmente estão mais presentes nos horizontes superficiais, já o de cor mais cromada é o horizonte transicional CA, sendo que para a amostra seca sua cor é de 2,5Y 6/3 (bruno amarelo claro) e úmida de 2,5Y 4/3 (bruno oliváceo), e o horizonte C, apresenta cor na ordem de 10YR 5/4 (bruno amarelo) para amostra seca e 10YR 4/4 (bruno amarelo escuro) para amostra úmida (Tabela 2).

Para o Luvissoilo Crômico tem-se que o horizonte mais cromado é o A, com matiz de 10R 3/2 (vermelho escuro acinzentado) para amostra úmida e 10R 2,5/2 (vermelho muito escuro acinzentado) para amostra úmida amassada. O horizonte textural Bt₂ é o mais brunado desse perfil, onde seu matiz corresponde a 2,5YR 3/2 (vermelho escuro acinzentado) para amostra seca e 2,5YR 2,5/2 (vermelho muito escuro acinzentado) para amostra úmida, o horizonte transicional AB e o horizonte textural Bt₁, exhibe respectivamente matizes de 2,5YR 4/6

(vermelho) na amostra seca e 2,5YR 2,5/3 (bruno avermelhado escuro) na amostra úmida e 2,5YR 4/3 (bruno avermelhado) para amostra seca e 2,5YR 3/2 (vermelho escuro acinzentado) para amostra úmida (Tabela 2).

Em relação a estrutura o perfil do Neossolo Regolítico, observa-se uma certa dominância do grau moderado, tamanho pequeno à médio e blocos subangulares, sendo apenas o horizonte C, que detêm grau fraco. Já no Luvisolo Crômico, apenas o horizonte Bt₂, evidenciou características morfológicas distintas em comparação com os outros horizontes, sendo classificado com o grau forte, tamanho muito grande, blocos angulares e uma excepcionalidade que é a presença de cerosidade, mesmo que seja pouca e fraca, e os horizontes A, AB e Bt₁, explicitam características estruturais dominantes como grau moderado, tamanho de pequeno à médio e blocos subangulares (Tabela 2).

O Neossolo Regolítico, revela uma dominância em na sua consistência, sendo macia, friável, não plástica e não pegajosa, resultado de sua textura franco-arenosa, vinculada a todos os horizontes desse solo, ou seja, solos mais arenosos, normalmente apresentam essas características morfológicas (Tabela 2).

Conforme a Tabela 2, o Luvisolo Crômico diferentemente do Neossolo Regolítico, realça uma dominância na consistência, sendo ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, isso para os 3 primeiros horizontes (A, AB e Bt₁), já no horizonte Bt₂, nota-se uma consistência dura, firme, plástica e muito pegajosa, esses elementos dificultam o processo de infiltração da água no sentido vertical, e favorece o escoamento lateral, principalmente entre o contato dos horizontes menos argilosos (que perdem argila para os horizontes subsuperficiais pelo processo de *lessivagem*)¹⁰, tais características são intrínsecas aos horizontes texturais (SiBCS, 2018).

Em função do que foi exposto anteriormente, o grupamento textural dos horizontes do Luvisolo Crômico, são classificados da seguinte forma: A é de natureza franco-argilo-arenosa e os AB, Bt₁ e Bt₂ são de natureza argila. A compreensão dessa característica morfológica é crucial para os estudos dos processos erosivos, pois a diferença textural que existe entre os horizontes superficiais e subsuperficiais, tendem a influenciar significativamente na dinâmica de infiltração, onde solos com maiores teores de argila dificultam tal processo e favorecem ao aumento do escoamento superficial que por sua vez podem desencadear mais erosão.

De acordo com a Tabela 2, a quantidade de cascalho presente em todo o perfil do Neossolo Regolítico aumenta conforme a profundidade e mudanças de horizontes, que vai

¹⁰ Para Mafra et al. (2001) e SiBCS (2018), *lessivagem* é o processo em que a argila migra em direção vertical no solo, e conseqüentemente acumula-se nos horizontes subsuperficiais, como o horizonte textural Bt (Luvisolos).

desde cascalho ausente no horizonte A, até muito cascalho no horizonte C, já no Luvissole Crômico a presença de cascalho é predominantemente de pouca quantidade em todos os horizontes do perfil.

Em alusão a porosidade dos solos, destaca-se que no Neossolo Regolítico, os horizontes A1 e A2, são semelhantes com poros de tamanho médio, pequeno e muito pequeno, de quantidade comuns, e os horizontes CA e C, revelam semelhança entre si, onde o tamanho de seus poros são da ordem de pequenos a muito pequenos e em pouca quantidade (Tabela 2). Em uma análise generalizada relata-se que não existe grande diferenças no tamanho e quantidade dos poros, tal fato pode estar relacionado a textura franco-arenosa desse solo.

A porosidade encontrada no Luvissole Crômico é um pouco mais diversificada do que a do no Neossolo Regolítico, pois o horizonte A1, compreende poros de tamanho pequeno a muito pequeno, de quantidade comum, os horizontes AB e Bt₁ exibem porosidade de tamanho pequeno a médio e quantidade comum, e o horizonte Bt₂, evidencia poros de tamanho muito pequeno a pequeno e quantidade pouca (Tabela 2). O fato de existir uma diversidade maior na distribuição e tamanho dos poros entre os horizontes desse solo, se deve ao maior grau de desenvolvimento desse solo, quando comparado ao Neossolo Regolítico.

Outro elemento importante são a presença ou não de raízes e a profundidade que elas podem atingir nos solos. Em ambos os solos e em todos os horizontes observa-se a presença de raízes, elemento importante, para os estudos erosivos, pois a quantidade e o diâmetro dessas raízes, interferem diretamente na dinâmica de infiltração e percolação da água no solo.

Diante do exposto, tem-se que no Neossolo Regolítico, o decréscimo no diâmetro e na quantidade de raízes conforme aprofunda-se no perfil e ocorre a mudança de horizontes, já no Luvissole Crômico, compreende raízes de quantidade de comum no horizonte superficial a pouco para os horizontes subjacentes, variando de diâmetro médio a muito finas, evidenciando raízes com diâmetro maior que as encontradas no perfil do Neossolo Regolítico (Tabela 2). Uma interpretação interessante é a intrínseca relação entre a porosidade com a presença de raízes em ambos os perfis, pois conforme o diâmetro e quantidade de raízes decresce, visualiza-se correspondência semelhante para o tamanho e quantidade de poros ocorrentes nos horizontes.

Tabela 2: Propriedades morfológicas dos solos da EEMPAS.

Horizonte	Profundidade (cm)	Transição	Cor seca e úmida	Estrutura	Consistência	Grupamento textural	Cascalho	Poros	Raízes
Perfil 1 - NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico									
A1	0-16	cl - pl	10YR 5/3 e 10YR 3/2	mo pq bl	mc fl npl npg	Franco-arenosa	au	mp pq md cm	mf fn ab
A2	16-54	cl - pl	10YR 5/3 e 10YR 3/3	mo pq md bl	mc fl npl npg	Franco-arenosa	pc	mp pq md cm	mf fn cm
CA	54-70	cl - pl	2,5Y 6/3 e 2,5Y 4/3	mo pq md bl	mc fl npl npg	Franco-arenosa	pc	mp pq pc	mf cm
C	70-80	-	10YR 5/4 e 10YR 4/4	fr pq md bl	mc fl npl npg	Franco-arenosa	mc	mp pq pc	mf pc
Perfil 2 - LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico									
A	0-13	cl - pl	10R 3/2 e 10R 2,5/2*	mo pq md bl	lgd fl lpl lpg	Franco-argilo-arenosa	pc	mp pq cm	mf fn cm
AB	13-32	cl - pl	2,5YR 4/6 e 2,5YR 2,5/3	mo pq md bl	lgd fl lpl lpg	Argila	pc	pq md cm	mf fn md pc
Bt ₁	32-45	cl - pl	2,5YR 4/3 e 2,5YR 3/2	mo pq md bl	lgd fl lpl lpg	Argila	pc	pq md cm	mf fn md pc
Bt ₂	45-75	-	2,5YR 3/2 e 2,5YR 2,5/2	ft mg ba	dr fm pl mpg	Argila	pc	mp pq pc	mf pc

(*) Coloração úmida e úmida amassada.

Transição: ab = abrupta; cl = clara; on = ondulada; pl = plana. **Estrutura:** ba = blocos angulares; bl = blocos subangulares; ft = forte; fr = fraca; gr = granular; gs = grãos simples; md = média; mg = muito grande; mo = moderada; pq = pequena. **Consistência:** dr = dura; fl = friável; lgd = ligeiramente dura; lpl = ligeiramente plástica; lpg = ligeiramente pegajosa; mc = macia; mdr = muito dura; mfr = muito firme; fm = firme; npg = não pegajosa; npl = não plástica; pg = pegajosa; pl = plástica; mpg = muito pegajosa; sl = solta. **Cascalho:** au = ausente; pc = pouco cascalhenta; ca = cascalhenta; mc = muito cascalhenta. **Poros:** ab = abundantes; cm = comuns; pc = poucos; gd = grandes; md = médios; mp = muito pequenos; pq = pequenos; **Raízes:** ab = abundantes; au = ausentes; cm = comuns; fn = finas; go = grossas; md = médias; mf = muito finas; pc = poucas.

Observação: O Horizonte Bt₂ do LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico, também apresenta Cerosidade, sendo pouca e fraca.

Dessa forma, observa-se a distribuição dos atributos físicos desses solos na Tabela 3. No Neossolo Regolítico que o horizonte superficial (A1), compreende a classe textural franco-arenosa, sendo o restante dos horizontes (A2, CA e C) de classe textural areia-franca, caracterizando-o como um solo arenoso, e o Luvisolo Crômico revela que todos os horizontes, detêm classe textural franco-argilo-arenosa (Tabela 3).

Tabela 3: Propriedades físicas dos solos da EEMPAS.

Hor.	Prof. (cm)	DS -- g/cm ³ --	DP	PT %	Areia grossa ----- kg/kg	Areia fina ----- kg/kg	Silte	Argila	ADA	GF %	Classe textural
Perfil 1 - NEOSSOLO REGULÍTICO Eutrófico léptico											
A1	0-16	1,60	2,70	40,74	0,431	0,368	0,098	0,103	0,018	82,52	Franco-arenosa
A2	16-54	1,61	2,70	40,37	0,447	0,364	0,118	0,071	0,053	25,35	Areia-franca
CA	54-70	1,65	2,78	41,65	0,450	0,368	0,097	0,085	0,028	67,05	Areia-franca
C	70-80	1,47	2,67	44,94	0,462	0,354	0,102	0,082	0,041	50,00	Areia-franca
Perfil 2 - LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico											
A	0-13	1,45	2,56	43,36	0,260	0,339	0,150	0,251	0,079	68,52	Franco-argilo-arenosa
AB	13-32	1,75	2,78	37,05	0,265	0,430	0,099	0,206	0,049	76,21	Franco-argilo-arenosa
Bt ₁	32-45	1,60	2,74	41,61	0,272	0,324	0,180	0,224	0,083	62,94	Franco-argilo-arenosa
Bt ₂	45-75	1,78	2,82	36,88	0,331	0,265	0,113	0,291	0,119	59,10	Franco-argilo-arenosa

DS: Densidade do Solo. Densidade de Partículas. PT: Porosidade Total. GF: Grau de Floclulação.

A análise das propriedades físicas dos solos, revela que existe um predomínio da fração areia grossa, seguida pela fração areia fina, ambas ocorrendo de maneira similar (em termos de quantidade) em todos os horizontes do Neossolo Regolítico, evidenciando uma relativa homogeneidade em relação a sua textura (Tabela 3).

A textura encontrada para o Luvisolo Crômico, indica uma maior heterogeneidade quando comparada com a do Neossolo Regolítico, pois a granulometria de areia grossa e fina são em menor quantidade (com exceção apenas do teor de areia fina para o horizonte transicional AB), mas supera nas frações de silte e principalmente de argila, destacando-se o horizonte Bt₂ com 0,291 kg/kg, esse fato confirma sua natureza argilosa (Tabela 3).

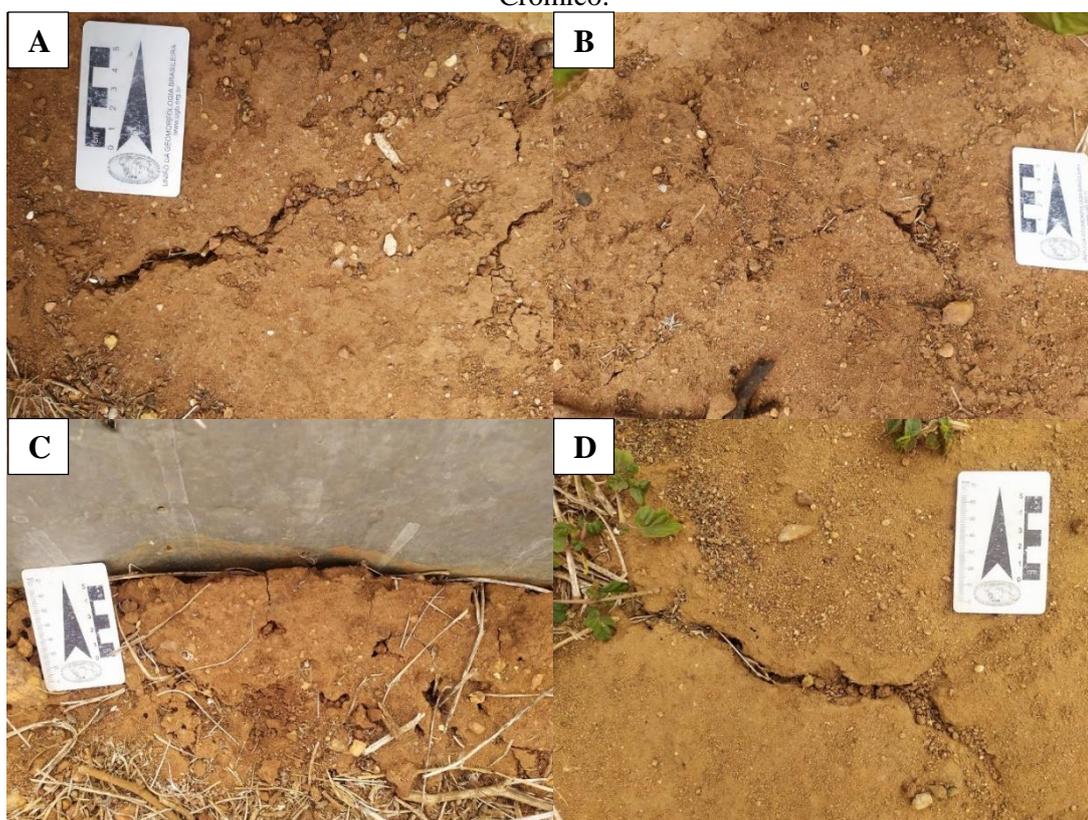
Fazendo uma comparação entre o horizonte C do Neossolo Regolítico e os horizontes Bt₁ e Bt₂, percebe-se que o horizonte C é consideravelmente superior aos horizontes Bt₁ e Bt₂, nas frações de areia grossa e fina, mas isso muda completamente quando as frações silte e argila são consideradas, pois os horizontes Bt₁ e Bt₂, detêm quantidades muito superiores as obtidas para o horizonte C.

As amplas diferenças existentes na natureza desses solos são fundamentais para o entendimento da dinâmica erosiva, logo porque a medida que o solo aumenta seus teores de

argila, conseqüentemente dificulta e diminui a velocidade de infiltração da água no solo, e se esse estiver descoberto (sem cobertura vegetal) e/ou com um manejo inadequado, ocorre um aumento significativo do escoamento superficial, e dessa forma tanto aumenta a erosão, como aumenta principalmente as taxas de escoamento. Já para o solo mais arenoso, observa-se uma elevada capacidade e velocidade de infiltração de água, mas dependendo de seu uso e cobertura a geração de escoamento e erosão podem ser muito significativas, na qual enfatiza-se a erosão, que tendem a superar em larga escala as encontradas para os solos mais argilosos (ver Tópico - 5.3 **Monitoramento das parcelas hidro-erosivas**).

As argilas presentes no Luvissole Crômico, fazem parte do grupo das argilas silicatadas expansíveis do tipo 2:1¹¹ (Figura 16 – A, B, C e D), ou seja, quando úmidas se expandem e quando secas se retraem (STRAWN; BOHN; O’CONNOR, 2020), e essa característica é necessária para o manejo adequado do solo, como também para os estudos erosivos, pois esses solos quando revolvidos ficam extremamente vulneráveis a esse processo.

Figura 16: A, B, C e D) Rachaduras oriundas da alta atividade das argilas do tipo 2:1, no Luvissole Crômico.



Fonte: Acervo do autor, em janeiro de 2020.

¹¹ Essas argilas silicatadas expansíveis do tipo 2:1, possuem uma camada de octaedros entre duas lâminas de tetraedros, essas argilas têm como característica principal a expansão nos períodos que exista umidade no solo e retração nos períodos de estiagem, no qual os solos perdem grande parte de sua umidade (BRADY; WEIL, 2013; STRAWN; BOHN; O’CONNOR, 2020)

Destaca-se aqui também a argila dispersa em água (ADA) e o grau de flocculação das argilas¹², observadas na Tabela 3, para os solos analisados, onde o Neossolo Regolítico apresenta números de ADA baixos, obtendo grau de flocculação maior nos horizontes A1 e CA, já para o Luvisolo Crômico, observa-se um maior grau de flocculação nos horizontes A e AB, coincidentemente os horizontes de ambos os solos que apresentaram graus mais elevados de flocculação das argilas, foram o superficial e o transicional, tal fato se deve a interferência direta da natureza granulométrica e da MO, que favorecem pra esses horizontes uma maior estabilidade aos agregados e conseqüentemente uma maior resistência à dinâmica erosiva.

Em relação a densidade do solo (DS), densidade de partículas (DP) e porosidade total (PT), o Neossolo Regolítico apresenta dados mais similares entre todos os horizontes, sendo que a DS e DP são menores no horizonte C (1,47 g/cm³ e 2,67 g/cm³, respectivamente), e conseqüentemente apresenta maior PT (44,94%) (Tabela 3). Essa similaridade está veiculada a natureza granulométrica e classe textural, majoritariamente arenosa, que aliás são muito susceptíveis aos processos erosivos superficiais (CUNHA et al., 2010), principalmente em ambientes com pouca ou quase nenhuma proteção (áreas com atividades agrícolas de subsistência – Cariri paraibano) (SOUZA; SUERTEGARAY; LIMA, 2009; SOUZA; SOUZA, 2016).

No Luvisolo Crômico a DS, DP e PT (Tabela 3), estão distribuídas de forma mais heterogênea, destacando-se a semelhança encontrada nos horizontes AB, Bt₁ e Bt₂ (maior compactação). Isto pode estar relacionado com as seguintes hipóteses:

- a) A atividade biológica parece ser reduzida nos horizontes subsuperficiais/inferiores, principalmente das raízes das plantas, influenciando diretamente na capacidade do solo em reter e infiltrar água (GYSSSELS et al., 2005);
- b) O histórico de uso da área, por meio da agricultura e pecuária, afeta principalmente o horizonte AB, visto que a utilização de máquinas agrícolas para a preparação do solo e a redução de MO, aumentam a compactação dos horizontes subsuperficiais/inferiores, dificultando processos de infiltração e retenção de água (RUEHLMANN, 2020; SCHJØNNING et al., 2017);
- c) O maior adensamento do horizonte Bt₂, provavelmente se dá pelo processo de iluviação (acumulação de argilas), que eleva os teores de argila em sua composição, além da baixa

¹² Quanto mais próximo de 100% mais flocculada está argila, ou seja, agregada e isso proporciona maior estabilidade dos agregados e mais resistência a erosão. Quanto mais próximo de 0% menos flocculada está a argila e os agregados são mais facilmente destruídos e isso faz com que o solo possua menor resistência a erosão (LIMA et al., 1990; FREITAS, 2011).

atividade orgânica. Essas características associadas tendem a aumentar a DS e a DP, e consequentemente diminuem a PT.

A DS e DP, são fundamentais na predição dos processos erosivos, pois é por meio do conhecimento dessas variáveis que é possível encontrar o valor de PT. E a medida que se eleva os valores de DS e DP, decresce os números de PT. Logo, quanto menor for a PT, mais difícil será o processo infiltração da água, por conta da diminuição dos espaços vazios do solo. Dessa forma, favorece a ocorrência de processos erosivos, oriundos do aumento do escoamento superficial, que, por sua vez, é influenciado pela compactação do solo (maiores valores de DS e DP).

Os elementos químicos dos solos, são fundamentais à compreensão de sua natureza e dos processos erosivos. Sendo assim, a Tabela 4, traz que o pH do Neossolo Regolítico se torna mais ácido a medida que aumenta a profundidade e ocorre as mudanças de horizontes, saindo de um pH praticamente neutro do horizonte superficial A1, para um pH moderadamente ácido do horizonte C, já o Luvisolo Crômico apresenta em todo o perfil, um pH moderadamente ácido. Oliveira et al. (2009) afirma que a elevada saturação por bases, associada à virtual ausência de Al trocável, contribui para manutenção de valores de pH próximos a 6,5.

O pH do solo é fundamental na absorção de cátions de argilas e matéria orgânica (MO), devido sua ligação preferencial dos íons de hidrogênio nas reações de troca; e, na formação e estabilidade dos coloides (CONKLIN JR, 2014). Fonseca (2007) afirma que a alteração do pH interfere diretamente na estabilidade dos compostos dos solos, que, à medida que se perde, possibilita a atuação dos processos erosivos.

De acordo com o cálculo do delta pH (ΔpH), observa-se em ambos os solos e em todos os perfis cargas negativas, onde para o Neossolo Regolítico os horizontes A2 e CA exibem cargas negativas mais altas, já os horizontes A1 e C, cargas negativas menores, ou seja, mais próxima de um equilíbrio entre as cargas. No Luvisolo Crômico as maiores diferenças estão nos horizontes AB e Bt₂, superando as cargas negativas mais expressivas existentes nos horizontes A2 e CA do Neossolo Regolítico, e os horizontes A e Bt₁ detêm as menores cargas negativas do Luvisolo Crômico (Tabela 4).

Tabela 4: Propriedades químicas dos solos da EMMPAS.

H	Prof. (cm)	H ₂ O pH	KCl pH	ΔpH	P _M	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	C	N	C/N	P _{REM}
					-----	mg/dm ³	-----	-----					cmolc /dm ³	-----	-----	%	-----	-----	dag/kg	-----	mg L ⁻¹
Perfil 1 - NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico leptico																					
A1	0-16	7,37	6,95	-0,42	355,7	309	2,81	8,83	2,11	0,00	0,0	11,74	11,74	11,74	100,0	0,0	0,10	3,01	0,117	25,7	52,6
A2	16-54	7,19	5,94	-1,25	22,6	249	0,00	1,74	0,60	0,00	0,2	2,98	2,98	3,18	93,7	0,0	0,00	0,25	0,021	11,9	54,2
CA	54-70	5,89	4,85	-1,04	5,0	78	10,66	1,75	0,98	0,00	0,3	2,98	2,98	3,28	90,9	0,0	1,41	0,25	0,015	16,7	53,3
C	70-80	5,76	4,77	-0,99	4,6	58	24,40	2,39	1,38	0,00	0,2	4,02	4,02	4,22	95,3	0,0	2,51	0,25	0,018	13,9	52,4
Perfil 2 - LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico																					
A	0-13	6,39	5,58	-0,81	62,4	305	42,08	11,82	4,27	0,00	1,3	17,06	17,06	18,36	92,9	0,0	1,00	2,76	0,147	18,8	47,7
AB	13-32	6,08	4,73	-1,35	13,4	58	63,67	11,06	3,75	0,00	1,1	15,24	15,24	16,34	93,3	0,0	1,69	0,50	0,041	12,1	46,9
Bt ₁	32-45	5,20	4,62	-0,58	2,6	50	122,58	9,43	3,82	0,00	1,9	13,91	13,91	15,81	88,0	0,0	3,37	0,63	0,041	15,3	43,6
Bt ₂	45-75	5,94	3,87	-2,07	1,8	54	280,50	12,04	6,45	0,19	1,9	19,85	20,04	21,75	91,3	0,9	5,61	0,50	0,034	14,7	43,4

H	Horizontes do Perfil do Solo	H+Al	Hidrogênio + Alumínio
Prof. (cm)	Profundidade dos Horizontes em Centímetros	SB	Soma de Bases Trocáveis
H ₂ O pH	pH em Água 1:2,5	t	Capacidade de Troca Catiônica Efetiva
KCl pH	pH em Cloreto de Potássio 1:2,5	T	Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0
ΔpH	Cálculo do Delta pH: pH KCl - pH H ₂ O	V	Índice de Saturação de Bases
P _M	Fósforo	m	Índice de Saturação por Alumínio
K ⁺	Potássio	ISNa	Índice de Saturação por Sódio
Na ⁺	Sódio	C	Carbono Orgânico e/ou Matéria Orgânica
Ca ²⁺	Cálcio	N	Nitrogênio
Mg ²⁺	Magnésio	C/N	Cálculo da relação Carbono Orgânico e Nitrogênio: C/N
Al ³⁺	Alumínio	P _{REM}	Fósforo remanescente

Quando ocorre um desequilíbrio entre as cargas, possibilita a formação de agregados menos estáveis tanto físico como quimicamente (CONKLIN JR, 2014), e dessa maneira eleva a susceptibilidade desse solo à erosão. Outra análise que se pode fazer é que a medida que ocorre a predominância de cargas negativas no solo, eleva-se a capacidade de reter cátions (como por exemplo: Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) em vez de ânions (STRAWN; BOHN; O'CONNOR, 2020).

Sob condições naturais, isso pode ser creditado a atuação direta do clima e do material de origem na formação dos solos, onde climas mais secos (como o semiárido brasileiro), tendem a comportar solos com processos pedogenéticos menos desenvolvidos e/ou até mais jovens, do que os solos de áreas de climas mais úmidos, pois com os baixos índices pluviométricos, diminui-se a quantidade de água no solo, e assim minimiza o processo de lixiviação/intemperismo dos elementos químicos fundamentais para o desenvolvimento das plantas, possibilitando o aumento da fertilidade do solo e diminuição da acidez (SOBRAL et al., 2015).

Na Tabela 4, encontra-se para ambos os solos uma predominância da base Ca^{2+} , seguida pela base Mg^{2+} , sendo que esses elementos químicos aparecem em maior quantidade no Luvissole Crômico, que ainda conta com maior teor de Na^+ e $\text{H}+\text{Al}$, quando comparado ao Neossolo Regolítico, que por sua vez conta com P_M e K^+ superiores aos encontrados no Luvissole Crômico, e a base Al^{3+} é praticamente nula, sendo encontrado apenas no horizonte Bt_2 do Luvissole Crômico.

Essas informações associadas com uma elevada CTC (Capacidade de Troca de Cátions) e um alto índice de saturação de bases (V) para os dois solos, revelam que são de natureza eutrófica, ou seja, são solos com alta fertilidade natural, no qual destaca-se o Luvissole Crômico que supera consideravelmente o Neossolo Regolítico nesse quesito, uma das explicações possíveis para isso é o fato do Luvissole Crômico conter mais cátions trocáveis/disponíveis (como, por exemplo: Ca^{2+} e Mg^{2+}) do que o Neossolo Regolítico.

Cunha et al. (2008; 2010) relatam que solos (principalmente os mais argilosos) de regiões semiáridas e áridas favorecem a maior concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} (como apresentado na Tabela 4), essas bases agem no solo como redutor dos níveis de acidez e toxidez provinda do alumínio, cobre e manganês, além de ser fundamental para o desenvolvimento e estruturação das plantas, por possibilitar a fixação de CO_2 e favorecer a floculação das argilas, que consequentemente aumentam a estabilidade dos agregados do solo, diferentemente do Na^+ que age como dispersor (CONKLIN JR, 2014; STRAWN, BOHN; O'CONNOR, 2020).

O carbono orgânico (C) está contido predominantemente nos horizontes superficiais dos dois solos, e seus teores decrescem com o aumento da profundidade. No Neossolo Regolítico o horizonte A1, conta com 3,01 dag/kg, e os outros horizontes (A2, CA, C) apresentam teor de 0,25 dag/kg, já o Luvissole Crômico apresenta em seu horizonte superficial (A) teor de 2,76 dag/kg, seguido do horizonte Bt₁, com 0,63 e 0,50 dag/kg para os horizontes AB e Bt₂ (Tabela 4).

O mesmo ocorre para N e P_M, onde sua maior ocorrência está contida nos horizontes superficiais, e à medida que se aprofunda nos perfis nota-se um decréscimo desses elementos (Tabela 4). Esse decréscimo de C, N e P_M, ocorre provavelmente pela diminuição dos teores de C do solo e de atividade biológica, como por exemplo, tamanho e quantidade de raízes. Logo porque, esses nutrientes só podem ser incorporados ao solo (*input*) por meio de atividade biológica (ALCÂNTARA; REIS, 2008).

Sabe-se que o C tem grande importância na manutenção da umidade nos solos e na estabilidade dos agregados. Ele atua como agente agregador e aumenta a capacidade de retenção de água em solos arenosos (com baixos teores de silte e argila), que apresentam agregados menos estáveis e não conseguem reter água como os solos argilosos, tal fato se deve a sua natureza granulométrica, já para os solos argilosos o C proporciona uma melhor aeração, permeabilidade e eleva a capacidade e velocidade de infiltração da água (FAO, 2015; 2019a; OBALUM et al., 2017; STRAWN; BOHN; O'CONNOR, 2020; TISDALL; OADES, 1982).

Essas características são elementos essenciais para o entendimento dos processos erosivos, pois solos com boas quantidades de C e agregados mais estáveis proporcionam o aumento de produtividade das culturas e diminuem a susceptibilidade à erosão dos solos (FAO, 2015; 2019a; LAL, 2018; OBALUM et al., 2017).

Esses solos são naturalmente muito susceptíveis a ação erosiva da água. A associação das características físicas-naturais, como a dinâmica climática semiárida, com as peculiaridades do Bioma da Caatinga (principalmente pela caducifolicidade), as características do relevo do interior do Planalto da Borborema e suas redes de drenagem proporcionam mais morfogênese do que pedogênese.

Para muitos geomorfólogos, as regiões áridas e semiáridas são os melhores locais para se estudar formas de relevo e processos, possibilitando a investigação das relações entre encostas e canais, por estarem normalmente mais próximos. Além disso, a rápida evolução das formas de relevo após chuvas de diferentes intensidades, permite a interpretação da evolução da paisagem no curto prazo, e ainda favorece a comparação dos processos geomórficos

prevalecentes em diferentes estações (CORRÊA; SOUZA; CAVALCANTI, 2014; NADAL-ROMERO; GARCÍA-RUIZ, 2018).

Somado as características físicas-naturais, é nítido que as atividades humanas desenvolvidas historicamente e/ou tradicionalmente na região, intensificam a erosão dos solos e os problemas advindos de sua atuação acelerada. Dentre essas atividades destaca-se o desmatamento, para fins como: extração de madeira (carvão, lenha e etc.); práticas agrícolas (agricultura de subsistência e produção de forragem animal) e pastoreio excessivo (pecuária – bovinos, caprinos e ovinos), que desencadeiam uma série de problemas, como a degradação ambiental.

6.3 MONITORAMENTO DAS PARCELAS HIDRO-EROSIVAS

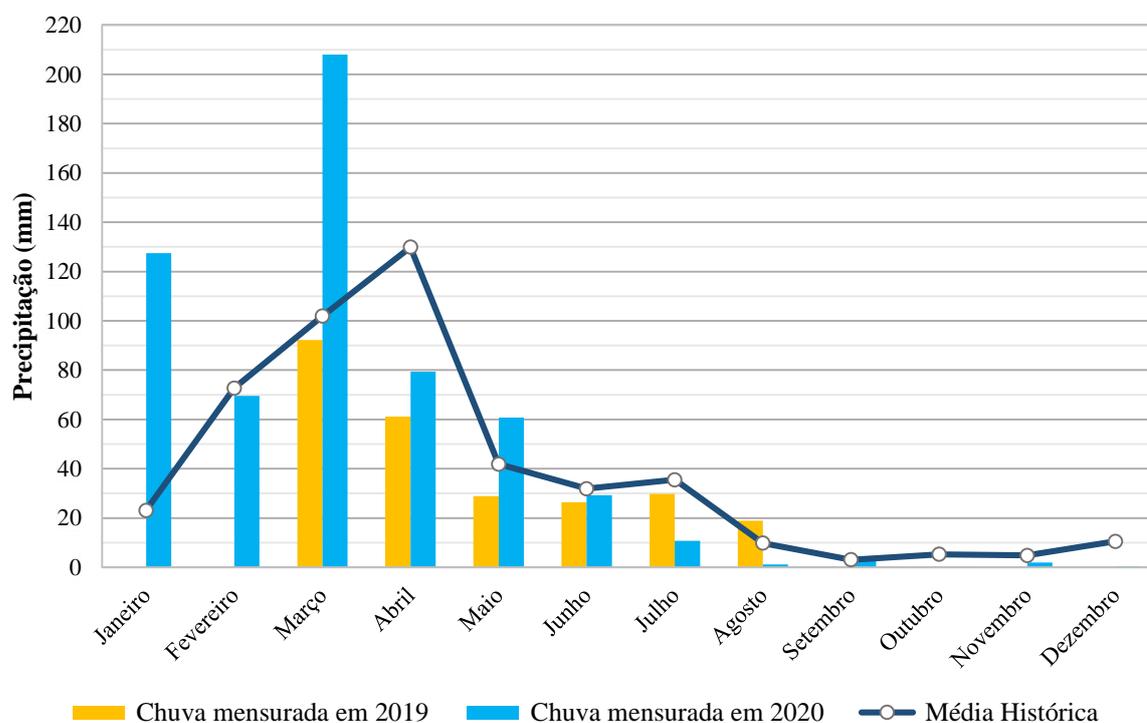
As precipitações mensuradas no período de 01 de março de 2019 à 31 de dezembro de 2020 na EEMPAS contaram com um total de 850,5 mm. Este valor é dividido em 257,3 mm para o período de 01 de março à 31 de dezembro de 2019 e 593,2 mm para o período de 01 de janeiro à 30 de dezembro de 2020. Sendo assim, a precipitação mensurada em 2019 representa 69% das chuvas esperadas para o período, e as chuvas mensuradas no período de 2020 apresentam 122% das chuvas aguardadas para o período, ambos de acordo com a série de dados históricos para o município de Gurjão-PB (Figura 17 – A e B e Figura 18).

Em relação ao ano de 2019, os meses de março, abril, maio, junho e julho choveram abaixo da média, sendo apenas o mês de agosto que superou a média histórica, e os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro não registraram precipitações, já no ano de 2020, os meses de janeiro, fevereiro, março, maio e setembro excederam as médias em 551,95%, 104,19%, 204,12% e 145,11% e 136,36% , respectivamente, já os meses de abril, junho, julho, agosto, outubro, novembro e dezembro ficaram abaixo da média histórica (Figura 18).

O número de dias com eventos chuvosos em que forneceram dados de escoamento e erosão foram 16, distribuídos da seguinte maneira: 6,3 mm no dia 24 de março; 8,6 mm no dia 26 de março; 34 mm no dia 30 de março; 17,6 mm no dia 29 de abril e 18,3 mm no dia 14 de maio, totalizando 84,8 mm acumulados nos reservatórios das parcelas no ano de 2019.

Já no período referente ao ano de 2020, tem-se o seguinte: 42 mm no dia 07 de janeiro; 71,7 mm no dia 08 de janeiro; 41 mm no dia 29 de fevereiro; 82 mm no dia 01 de março; 44,3 mm no dia 16 de março; 44,3 mm no dia 18 de março; 16,3 mm no dia 25 de março; 20,6 mm no dia 16 de abril; 22,3 mm no dia 22 de abril; 19,7 mm no dia 27 de abril e 39 mm no dia 27 de maio, obtendo um total acumulado nos reservatórios das parcelas de 443,2 mm. O total das chuvas acumuladas referente ao período amostrado foi de 528,3 mm (Tabela 5).

Figura 18: Gráfico mensal das chuvas mensuradas de 01 de março de 2019 à 31 de dezembro de 2020.



Fonte: A média histórica foi obtida através do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande. Acessado em novembro de 2020.

Evidencia-se que nem todos os eventos chuvosos geraram escoamento superficial suficiente para resultar em acúmulo de material (água e sedimentos) nos reservatórios das parcelas. O volume total coletado foi maior na parcela PLCPal, com 196,8 mm, seguida da PNRPal, com 145,8 mm, PLCPou, com 84,1 mm e na PNRPou, com 7,1 mm (Tabela 5). Em relação a chuva, a maior taxa de escoamento superficial foi, respectivamente de 37,3% na PLCPal, de 27,6% na PNRPal, de 15,9% na PLCPou e 1,3% na PNRPou. Chama-se atenção que os únicos eventos chuvosos que geraram escoamento e erosão, em todas as parcelas, foram os dias 30 de março de 2019, com 34 mm e 08 de janeiro de 2020, com 71,7 mm.

Tabela 5: Taxas de escoamento superficial das parcelas hidro-erosivas da EEMPAS.

Data	Chuva mensurada (mm)	Escoamento							
		PNRPal		PNRPou		PLCPal		PLCPou	
		mm	% da chuva	mm	% da chuva	mm	% da chuva	mm	% da chuva
24/03/2019	6,3	-	-	-	-	-	-	0,2	2,9
26/03/2019	8,6	-	-	-	-	-	-	0,1	1,2
30/03/2019	34	12,6	37,1	6,0	17,6	11,7	34,4	15,6	45,9
29/04/2019	17,6	1,1	6,3	-	-	0,5	2,8	1,4	8,0
14/05/2019	18,3	0,4	2,3	-	-	1,6	8,7	0,7	3,8
Total - 2019	84,8	14,1	16,7	6,0	7,1	13,8	16,3	18,0	21,2
07/01/2020	42	6,4	15,2	-	-	19,8	47,1	3,0	7,1
08/01/2020	71,7	45,2	63,0	1,1	1,5	62,1	86,6	35,9	50,1
29/02/2020	41	3,1	7,5	-	-	3,7	9,0	1,7	4,1
01/03/2020	82	40,3	49,1	-	-	59,4	72,4	25,5	31,1
16/03/2020	44,3	10,0	22,6	-	-	13,0	29,3	-	-
18/03/2020	44,3	20,8	47,0	-	-	24,8	56,0	-	-
25/03/2020	16,3	1,2	7,4	-	-	-	-	-	-
16/04/2020	20,6	0,7	3,4	-	-	-	-	-	-
22/04/2020	22,3	2,2	9,9	-	-	-	-	-	-
27/04/2020	19,7	0,3	1,5	-	-	-	-	-	-
27/05/2020	39	1,5	3,8	-	-	0,2	0,5	-	-
Total - 2020	443,2	131,7	29,7	1,1	0,3	183,0	41,3	66,1	14,9
Total Geral	528,3	145,8	27,6	7,1	1,3	196,8	37,3	84,1	15,9

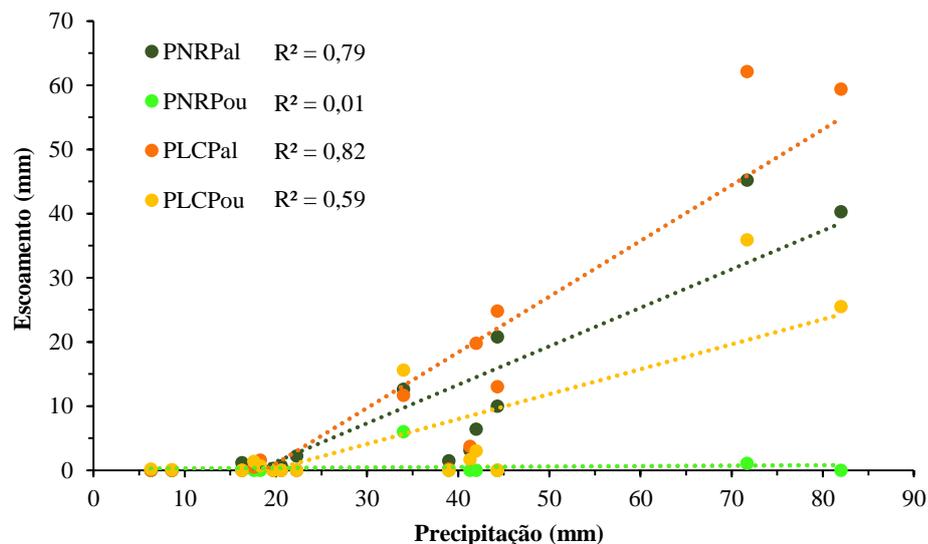
Desse total, o volume escoado em 2019, foi de 18,0 mm (21,2%) na PLCPou, 14,1 mm (16,7%) na PNRPal, 13,8 mm (16,3%) na PLCPal e 6 mm (7,1%) na PNRPou, já em relação

ao coletado em 2020, observa-se que foi de 183,0 mm (41,3%) na PLCPal, 131,7 mm (29,7%) na PNRPal, 66,1 mm (14,9%) na PLCPou e 1,1 mm (0,3%) na PNRPou (Tabela 5).

Em termos estatísticos, as PNRPal (79%), PLCPal (82%) e PLCPou (59%), evidenciaram que existe uma boa correlação entre o escoamento superficial e a precipitação, ou seja, de modo geral quanto maior a quantidade de chuva maior é o escoamento, principalmente para as parcelas com a cultura da palma (Figura 19).

A única exceção é feita a PNRPou (Figura 19), que estatisticamente não comprovou essa correlação, contando com apenas 1%. Neste caso, o fato da cobertura vegetal (vegetação rasteira - herbácea) ter se instalado no sistema de pousio, sobre o solo arenoso (Neossolo Regolítico) fez com que o escoamento reduzisse significativamente, favorecendo assim a infiltração¹³.

Figura 19: Coeficiente de Escoamento em função da Precipitação para todas as parcelas.



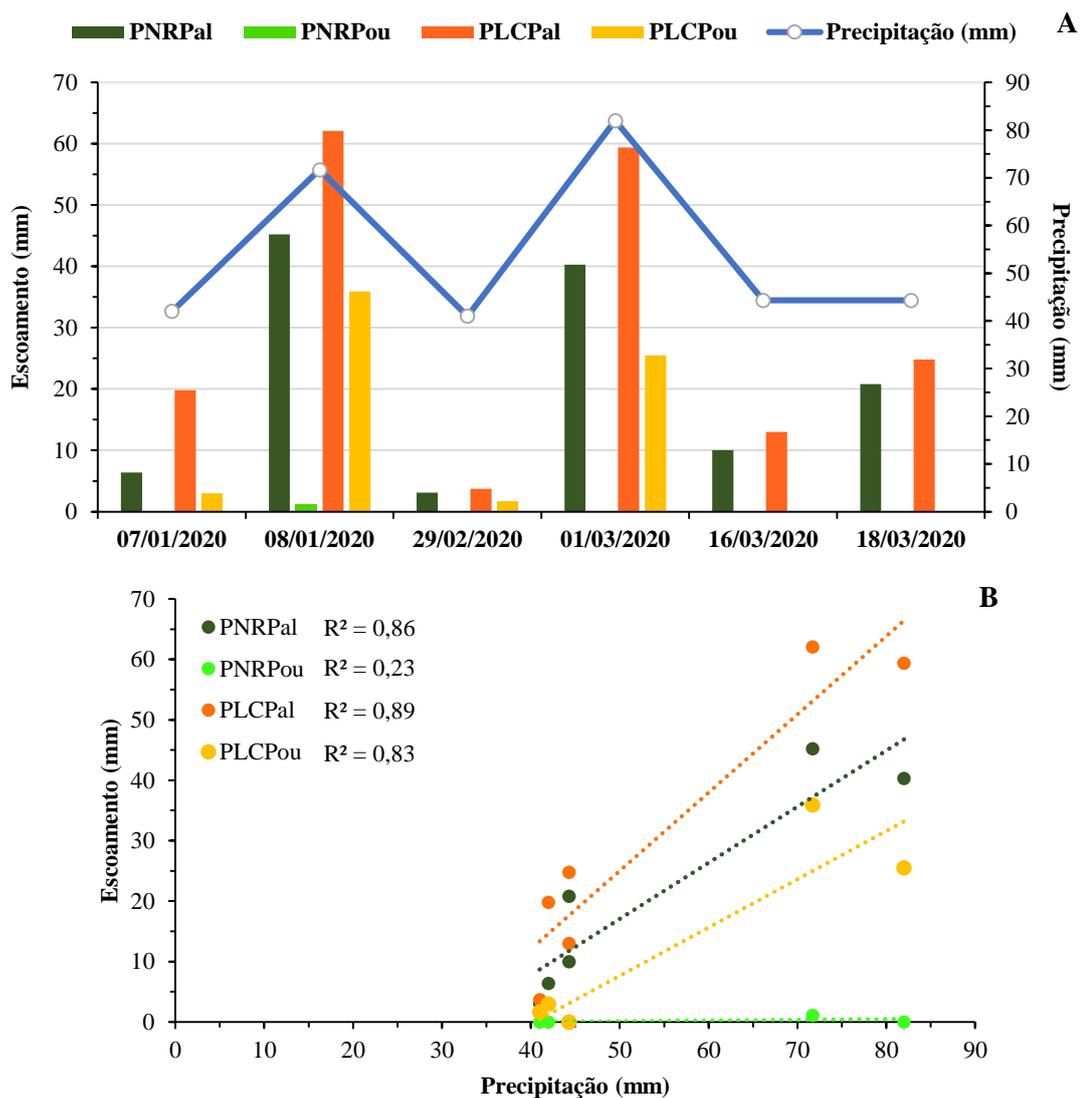
Quando se associa os dados da Tabela 5 com os dados da Figura 20 – A e B, observa-se que as taxas de escoamento superficial nas parcelas aumentam conforme a umidade antecedente é maior, uma vez que chuvas em dias seguidos tendem a elevar o escoamento, pois o solo já se encontra úmido. Este comportamento pode ser observado nos dias 08 de janeiro, com 71,7 mm, 01 de março com 82 mm e 18 de março com 44,3 mm, ambos em 2020 (Figura 20 - A). Nesses três eventos chuvosos identifica-se a ocorrência de chuvas anteriores (42 mm no dia 07 de janeiro, 41 mm no dia 29 de fevereiro e 44,3 mm no dia 16 de março), que

¹³ A infiltração será melhor detalhada na seção seguinte: 5.4 **Avaliação dos ensaios de infiltração.**

favoreceram os maiores valores das taxas de escoamento, e conseqüentemente a diminuição da infiltração (Figura 20 – A e B).

A análise dos gráficos da Figura 20 – A e B, permite afirmar que estatisticamente, as parcelas sobre o Luvissole Crômico (PLCPal e PLCPou), são mais susceptíveis ao escoamento superficial que as parcelas no Neossolo Regolítico (PNRPal e PNRPou). Essa peculiaridade é originada pela natureza do Luvissole Crômico, que em sua composição apresenta argilas de alta atividade e/ou expansíveis (argilas do tipo 2:1), isto significa que essas argilas quando úmidas se expandem, diminuindo ainda mais a porosidade e, conseqüentemente, a infiltração (ARAÚJO FILHO et al., 2017; CUNHA et al., 2008, 2010; LIMA, 2014; SANTOS et al., 2016, 2018), e dessa forma, favorece o escoamento superficial.

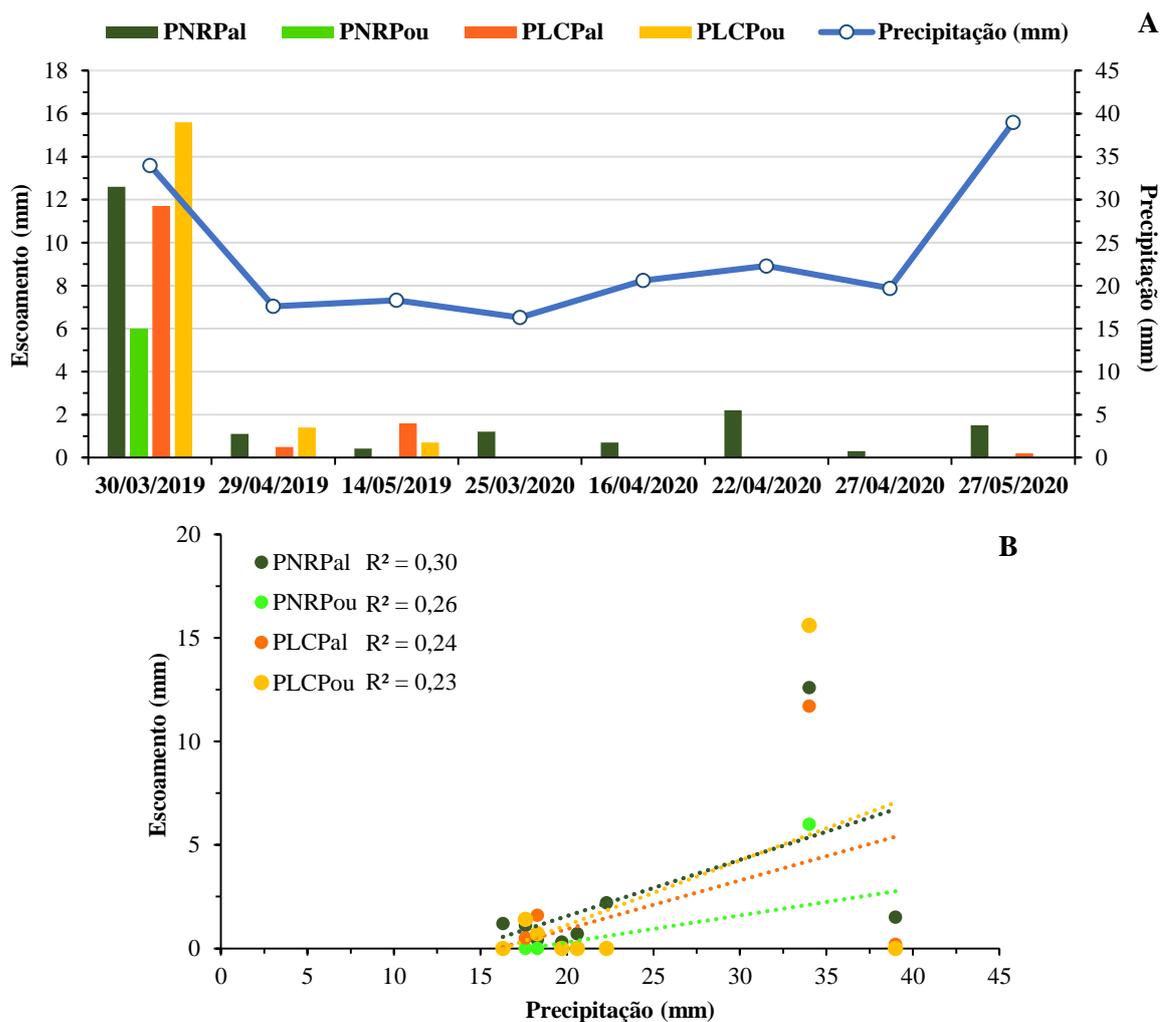
Figura 20: A) Taxas de escoamento e precipitação nos eventos chuvosos consecutivos; e, B) Coeficiente de Escoamento em função da Precipitação dos eventos chuvosos consecutivos. Ambas para todas as parcelas.



Nesse sentido, Lopes, Montenegro e Lima (2019) ao estudarem a dinâmica hidrológica e os processos erosivos superficiais sob diferentes usos/cobertura, em um Argissolo Vermelho-Amarelo (solo argiloso), numa bacia hidrográfica no semiárido do Pernambuco, relatam que a geração de escoamento esteve fortemente relacionada às condições de umidade antecedente de eventos específicos.

Já em dias que ocorreram chuvas isoladas, percebe-se que a infiltração tende a ser maior, pois o solo se encontra menos úmido, como nos dias, 29 de abril e 14 de maio no ano de 2019 (ambos com 17,6 mm e 18,3 mm, respectivamente), e, 29 de fevereiro (41 mm), 16 (44,3 mm) e 25 (16,3 mm) de março, 16 (20,6 mm), 22 (22,3 mm) e 27 (19,7 mm) de abril e 27 de maio (39 mm) no ano de 2020, por exemplo (Tabela 5; Figura 21 - A e B).

Figura 21: A) Taxas de escoamento e precipitação nos eventos chuvosos isolados; e, B) Coeficiente de Escoamento em função da Precipitação dos eventos chuvosos isolados. Ambas para todas as parcelas.



De acordo com esses eventos anteriormente citados, nota-se uma ocorrência mais homogênea entre as taxas de escoamento das parcelas (Figura 21 – B), principalmente quando se trata das parcelas PNRPou, PLCPal e PLCPou, sendo a PNRPal a única parcela que gerou escoamento em todos os eventos do período amostrado (Figura 21 - A).

A correlação estatística entre escoamento superficial e precipitação não ultrapassou os 30% da PNRPal, isto se dá pelo motivo de que as vegetações das parcelas (cultura da palma e pousio - herbácea), durante esses eventos mencionados, estavam mais desenvolvidas, fornecendo maior proteção ao solo, excetuando apenas o evento do dia 30 de março de 2019 (Figura 21 – A e B; Figura 22 – A e B).

A diferença existente entre as taxas de escoamento das parcelas PNRPal e PNRPou, está diretamente vinculada a natureza pedogenética do Neossolo Regolítico e as mudanças de uso, pois se apresenta como um solo muito incipiente, de estruturação muito fraca/pouca, ou seja, pouco desenvolvido (ARAÚJO FILHO et al., 2017; CUNHA et al., 2008; 2010; SiBCS, 2018). E quando essas características são associadas aos diferentes tipos de uso (cultura da palma e pousio), fica ainda mais evidente sua vulnerabilidade, visto que uma simples mudança no uso, desencadeia um forte desequilíbrio no sistema.

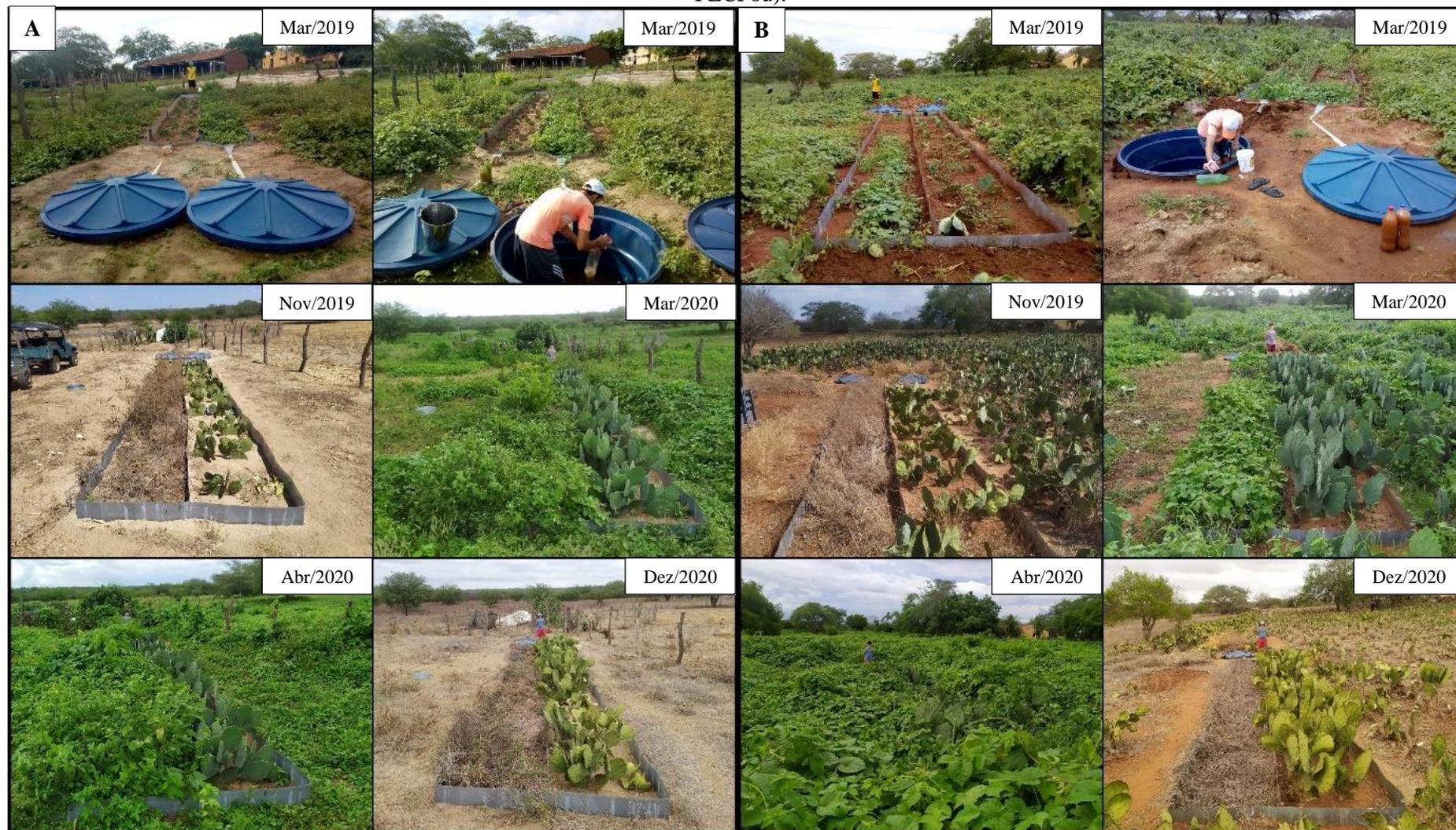
De todos os eventos chuvosos isolados, apenas o evento do dia 30 de março de 2019, obteve taxas de escoamento significativas em todas as parcelas (Tabela 5; Figura 21 - A). Essa ocorrência pode ser explicada de duas maneiras: 1) esse evento chuvoso ocorreu no período das chuvas mais significativas para o município de Gurjão-PB (final de março e início de abril), conforme a média histórica (Figura 18); e, 2) os eventos chuvosos anteriores a essa data não foram tão expressivos em termos de quantidade (6,3 mm em 24 de março e 8,6 em 26 de março – Tabela 5), dessa forma dificultou o desenvolvimento da cultura da palma nas parcelas PNRPal e PLCPal (Figura 22 – A), e principalmente a proliferação da vegetação herbácea (sazonal) na parcela PLCPou (Figura 22 – B).

A partir da análise das chuvas consecutivas e isoladas, deduz-se que:

1º) Em dias isolados de chuva não se observa geração significativa de escoamento, evidenciando uma certa homogeneidade (excetuando apenas o evento do dia 30 de março de 2019¹⁴), quando comparado aos dias com chuvas consecutivas;

¹⁴ Isso se deve ao fato de que o evento do dia 30 de março, ter sido uma das primeiras e únicas chuvas expressivas para o ano de 2019, que choveu apenas 69% do esperado, conforme a média histórica do município de Gurjão-PB.

Figura 22: A) Mosaico com as parcelas sobre o Neossolo Regolítico (PNRPal e PNRPou); B) Mosaico com as parcelas sobre o Luvissole Crômico (PLCPal e PLCPou).



Fonte: Acervo de Glória Borges, de Vicente Ramos Filho e do Autor.

2º) Nos eventos com chuvas consecutivas existe um aumento considerável nas taxas de escoamento para o evento após a primeira chuva, expondo a importância da umidade antecedente para a dinâmica do escoamento (LOPES; MONTENEGRO; LIMA, 2019; OLIVEIRA; NEARING; WENDLAND, 2015; PINESE JÚNIOR et al., 2008), principalmente para as parcelas com a cultura da palma (PNRPal e PLCPal);

3º) As chuvas em sequência e de maior magnitude ocorrem geralmente no início do período chuvoso, e dessa forma a vegetação herbácea (sazonal) que se instala nas parcelas em pousio (PNRPou e PLCPou) ainda não está plenamente desenvolvida, influenciando diretamente na elevação nas taxas de escoamento;

4º) As menores taxas de escoamento dos eventos isolados de chuva, estão vinculados ao desenvolvimento e proliferação da vegetação herbácea (sazonal) para as parcelas PNRPou e PLCPou e da cultura da palma nas parcelas PNRPal e PLCPal, logo porque, normalmente as chuvas isoladas ocorrem após algum tempo (semanas) das chuvas de maior magnitude e em sequência do período chuvoso.

Outra variável que precisa ser levada em consideração é a característica dos eventos chuvosos, principalmente na perspectiva da intensidade (volume/tempo). A ênfase creditada a essa característica está difundida na grande maioria dos estudos sobre a dinâmica hidrológica e processos erosivos superficiais: Leite et al. (2018); Lopes, Montenegro e Lima (2019); Nadal-Romero et al. (2015); Santos et al. (2016 e 2018); Silva, Santos e Santos (2017).

De modo geral, esses estudos expõem que a intensidade da precipitação (volume/tempo) combinada com outras (por exemplo: características do clima, das encostas, dos solos, dos usos e/ou coberturas e a umidade antecedente) são fundamentais para a compreensão dos processos de escoamento superficial e erosão, pois a medida que a intensidade da chuva se eleva, o solo passa a não conseguir infiltrar toda a água precipitada e desencadeia o escoamento superficial, aumentando significativamente as taxas de escoamento e erosão (GUERRA, 1994b; MORGAN, 2005; OLIVEIRA; NEARING; WENDLAND, 2015).

Sabendo dessa importância, a Tabela 6 exhibe elementos essenciais para analisar o papel da intensidade da chuva (mm/h) na geração do escoamento superficial nas parcelas PNRPal, PLCPal e PLCPou, em 8 eventos chuvosos (29 de fevereiro à 27 de abril, de 2020). A ausência da parcela PNRPou, se deve ao fato de que, a mesma não registrou escoamento nos eventos mencionados, ou seja, a cobertura vegetal (mais densa) do sistema em pousio sobre o Neossolo Regolítico, foi capaz de evitar a ocorrência de escoamento e erosão. Informa-se ainda que, a

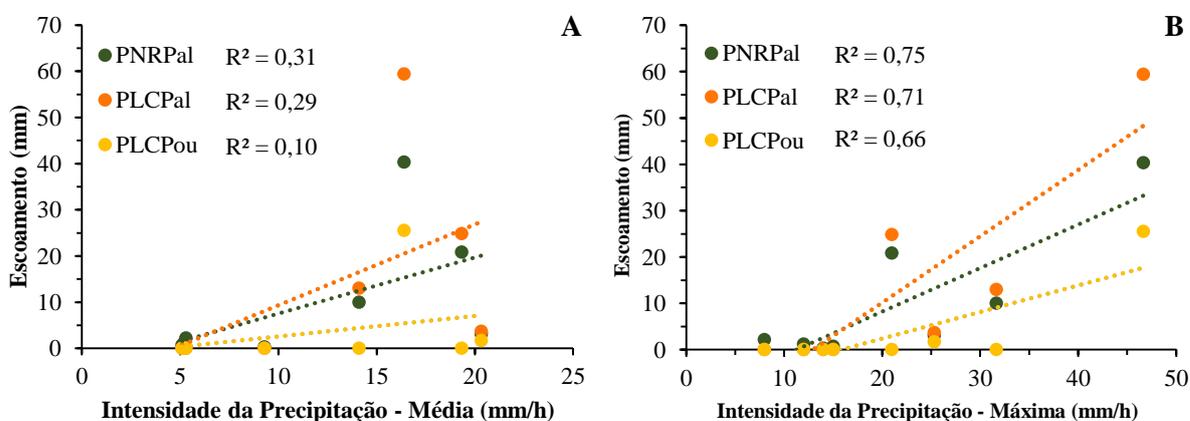
utilização de apenas 8 dos 16 eventos chuvosos, foi condicionada por problemas técnicos com o pluviômetro na coleta dos dados horários.

Tabela 6: Intensidade da chuva e escoamento superficial.

Eventos analisados	Precipitação mensurada (mm)	Duração da chuva (h)	Intensidade da Precipitação (mm/h)		Escoamento Superficial mensurado (mm)		
			Média	Máxima	PNRPal	PLCPal	PLCPou
29-fev-2020	41,3	2	20,33	25,33	3,1	3,7	1,7
01-mar-2020	82	5	16,4	46,67	40,3	59,4	25,5
16-mar-2020	44,3	3	14,11	31,67	10	13	0
18-mar-2020	44,3	2	19,33	21	20,8	24,8	0
25-mar-2020	16,3	3	5,2	12	1,2	0	0
16-abr-2020	20,6	4	5,1	15	0,7	0	0
22-abr-2020	22,3	3	5,3	8	2,2	0	0
27-abr-2020	19,7	2	9,3	14	0,3	0	0

A análise da correlação entre as intensidades média e máxima da chuva com o escoamento superficial mostrou que a intensidade máxima da precipitação tem melhor correlação com as taxas de escoamento do que a intensidade média, isso para todas as parcelas analisadas (Figura 23 – A e B). Isso indica que, quanto maior a intensidade da precipitação (mm/h), mais rápido o solo ficará saturado, e conseqüentemente maior será a geração de escoamento, especialmente quando se trata das parcelas com a cultura da palma (PNRPal e PLCPal).

Figura 23: A e B) Coeficiente de Escoamento em função da Intensidade da Precipitação, para as parcelas PNRPal, PLCPal e PLCPou.



Durante os eventos chuvosos, o maior espaçamento existente na cultura da palma (distância entre os indivíduos), favorece o impacto das gotas diretamente no solo, com isso

ocorre a quebra dos agregados e a selagem do topo do solo, obstruindo os poros e assim dificultando o processo de infiltração, principalmente em solos com altos teores de argila, como é o caso do Luvisso Crômico (PLCPal).

A explicação para isso, está vinculada a natureza das argilas, uma vez que, são compostas por partículas menores do que 0,002 mm (FERREIRA, 2010), apresentam elevadas superfícies, de formato laminar (SiBCS, 2018; USDA, 2017), e quando desagregadas pelos impactos das gotas das chuvas, tendem a se alocar nos poros do solo, formando em muitos casos um selamento superficial, que conseqüentemente elevam as taxas de escoamento e erosão e reduzindo as taxas de infiltração (CARMI; BERLINER, 2008; SHI et al., 2017).

Nas parcelas em pousio (PNRPou e PLCPou), por comportarem uma vegetação herbácea variada (tanto em espécies, como em tamanho – estrutura foliar), o impacto das gotas da chuva é reduzido (diminuição da energia cinética e da velocidade do impacto), diminuindo a geração de escoamento superficial e erosão, e aumenta a proteção ao solo quando comparada as parcelas com a cultura da palma (PNRPal e PLCPal).

A análise geral dos dados obtidos (Tabela 5), permite destacar que as taxas de escoamento nas parcelas do Luvisso Crômico (PLCPal e PLCPou), foram 46,56% superiores aos mensurados nas parcelas do Neossolo Regolítico (PNRPal e PNRPou). As parcelas com cobertura da cultura da palma (PNRPal e PLCPal), escoaram respectivamente 37,46% e 72,42%, a mais que as parcelas em pousio juntas (PNRPou e PLCPou). Essa correlação valida a suposição de que a interferência humana no ambiente tende a desequilibrar os sistemas naturais (BORRELI et al., 2017; 2020; DOTTERWEICH, 2013; MONTGOMERY, 2007).

Diante dessa realidade, alerta-se que a parcela PNRPal gerou cerca de 20,6 vezes mais escoamento que a parcela PNRPou, e a parcela PLCPal obteve 2,34 vezes mais escoamento que a parcela PLCPou (Tabela 5). Perante tal fato, infere-se que do ponto de vista hidrológico, o Neossolo Regolítico é mais sensível/vulnerável à intervenção humana do que o Luvisso Crômico.

Em relação as taxas de erosão, o valor somado em todo o período de estudo foi de 7,856 t/ha na PNRPal, seguido respectivamente pela PLCPal, com 2,539 t/ha, PLCPou com 0,669 t/ha e PNRPou com 0,052 t/ha (Tabela 7). Esses valores estão distribuídos da seguinte forma: 0,793 t/ha⁻¹ ano⁻¹ na PNRPal, 0,435 t/ha⁻¹ ano⁻¹ na PLCPou, 0,274 t/ha⁻¹ ano⁻¹ na PLCPal e 0,045 t/ha⁻¹ ano⁻¹ na PNRPou, para o período de 2019 e 7,063 t/ha⁻¹ ano⁻¹ na PNRPal, 2,266 t/ha⁻¹ ano⁻¹ na PLCPal, 0,235 t/ha⁻¹ ano⁻¹ na PLCPou e 0,007 t/ha⁻¹ ano⁻¹ na PNRPou, no período de 2020 (Tabela 7).

Ao analisar os dados da Tabela 7, percebe-se que as parcelas PNRPou e PLCPou (em sistema de pousio) no período de 2019, geraram cerca de 682% e 185% respectivamente, mais erosão do que as taxas mensuradas em todo o ano de 2020 para as mesmas parcelas, mesmo em um ano que só choveu 69% do esperado. Tal fato está diretamente relacionado ao processo de instalação e ajustamento das parcelas¹⁵, dificultando a proliferação da vegetação herbácea (protetora) no sistema de pousio, principalmente na parcela PLCPal.

Tabela 7: Taxas erosivas nas parcelas hidro-erosivas da EEMPAS.

Data	Chuva mensurada (mm)	Erosão (t/ha ⁻¹)			
		PNRPal	PNRPou	PLCPal	PLCPou
24/03/2019	6,3	-	-	-	0,002
26/03/2019	8,6	-	-	-	0,001
30/03/2019	34	0,781	0,045	0,234	0,406
29/04/2019	17,6	0,006	-	0,005	0,020
14/05/2019	18,3	0,005	-	0,035	0,006
Total - 2019	84,8	0,793	0,045	0,274	0,435
07/01/2020	42	0,128	-	0,257	0,015
08/01/2020	71,7	0,904	0,007	1,118	0,180
29/02/2020	41	0,043	-	0,054	0,009
01/03/2020	82	2,055	-	0,594	0,032
16/03/2020	44,3	1,210	-	0,117	-
18/03/2020	44,3	2,642	-	0,124	-
25/03/2020	16,3	0,020	-	-	-
16/04/2020	20,6	0,004	-	-	-
22/04/2020	22,3	0,031	-	-	-
27/04/2020	19,7	0,006	-	-	-
27/05/2020	39	0,021	-	0,002	-
Total - 2020	443,2	7,063	0,007	2,266	0,235
Total Geral	528,3	7,856	0,052	2,539	0,669

Já a erosão nas parcelas PNRPal e PLCPal (cultura da palma) no período de 2020, contaram com taxas que superaram em aproximadamente 891% (8,9 vezes) e 828% (8,3 vezes) respectivamente, a erosão observada nas mesmas parcelas para o período de 2019. Destaca-se

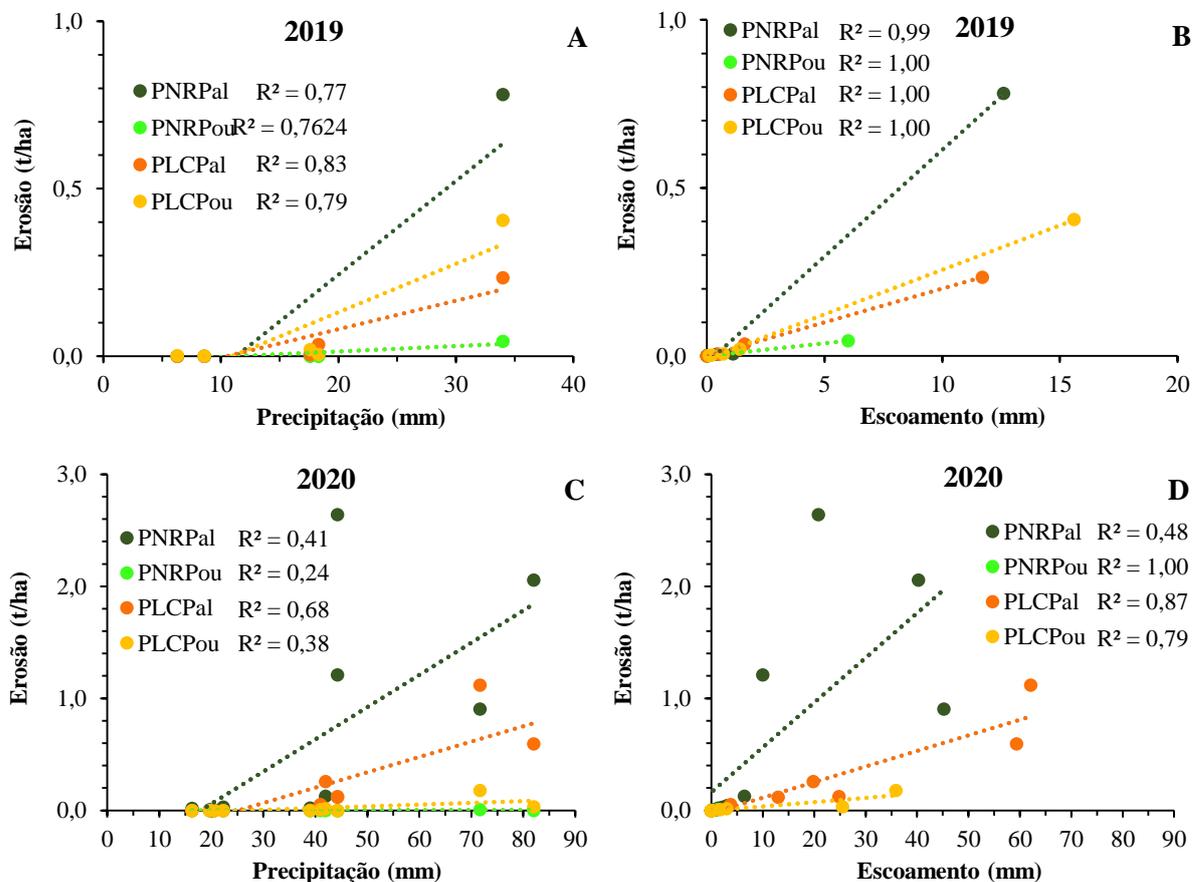
¹⁵ Todas as parcelas foram instaladas entre o final de fevereiro e início de março de 2019.

que a precipitação do ano de 2020 foram acima da média (cerca de 122%) esperada, além da ocorrência de chuvas de grande magnitude (acima de 40 mm), favorecendo maiores valores de escoamento superficial, e consequentemente maiores taxas de erosão.

Segundo a correlação estatística entre erosão e precipitação (Figura 24 – A), e erosão e escoamento (Figura 24 – B), para os resultados do período de 2019, é possível perceber ótimas relações, principalmente quando se trata da erosão e o escoamento. Neste caso significa que, à medida que ocorrer mais precipitação e escoamento, maior será as taxas de erosão.

O mesmo não pode ser dito para a análise do período de 2020, onde a correlação entre erosão e precipitação (Figura 24 – C), foi menor do que a encontrada para a correlação entre erosão e escoamento (Figura 24 – D), que por sua vez mostrou correlação significativa entre as variáveis. A exceção é feita apenas para a parcela PNRPal, pois mostrou semelhança entre as duas correlações (Figura 24 – C e D), alertando que a dinâmica hidrológica e erosiva é muito mais complexa durante anos mais chuvosos (nesse caso 2020), do que em anos com menos chuvas (como o ano de 2019).

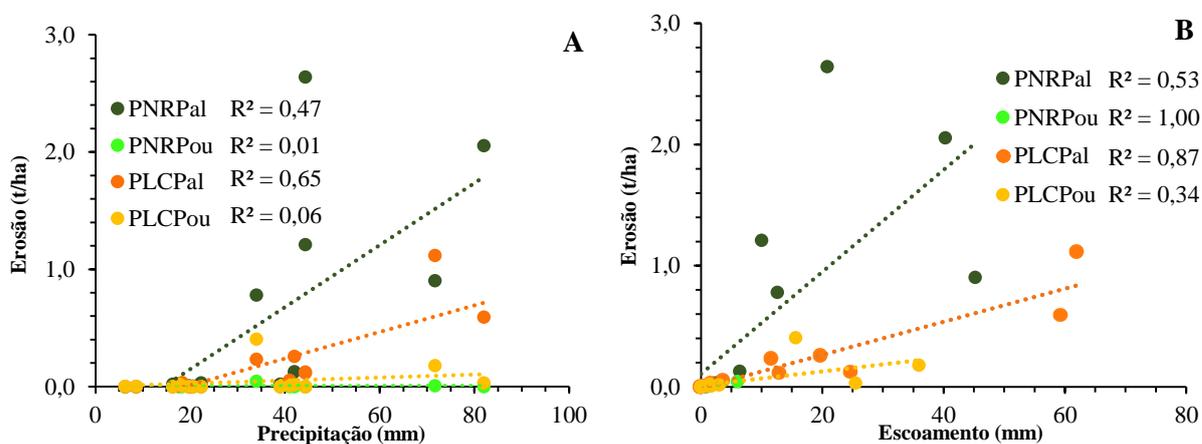
Figura 24: Coeficiente de Erosão em função da Precipitação e coeficiente de Erosão em função do Escoamento: A e B, para o período de 2019; C e D, para o período de 2020.



Partindo para a análise de todo o período de coleta de dados, tem-se que a correlação entre a erosão e a precipitação se mostrou baixa (Figura 25 – A), sendo ainda menos representativo para as parcelas em pousio (PNRPou – 1% e PLCPou – 6%), indicando que não é uma relação simples, onde quanto maior a precipitação, maior será a erosão. Isso, reflete a complexidade do processo erosivo, onde muitas variáveis interferem para sua ocorrência, como as características dos eventos de precipitação (intensidade - volume/tempo), a umidade antecedente, escoamento, classe de solo e o tipo de uso/cobertura.

Diferentemente da correlação entre erosão e precipitação (Figura 25 – A), a correlação entre erosão e escoamento (Figura 25 – B), evidenciou que existe uma certa afinidade, sendo mais significativa para as parcelas PNRPal ($\pm 100\%$) e PLCPal (87%). Os resultados da parcela PNRPou (Figura 25 – A e B) podem estar ligados ao fato de que, apenas 2 dos 16 eventos mensurados no estudo em destaque (Tabela 7), geraram escoamento e erosão, isto significa dizer que a vegetação que se desenvolveu no sistema de pousio no Neossolo Regolítico, foi fundamental na proteção do solo, na redução das taxas de escoamento e erosão, e colaborou com o aumento das taxas de infiltração.

Figura 25: A) Coeficiente de Erosão em função da Precipitação; e, B) Coeficiente de Erosão em função do Escoamento. Ambas para todas as parcelas.



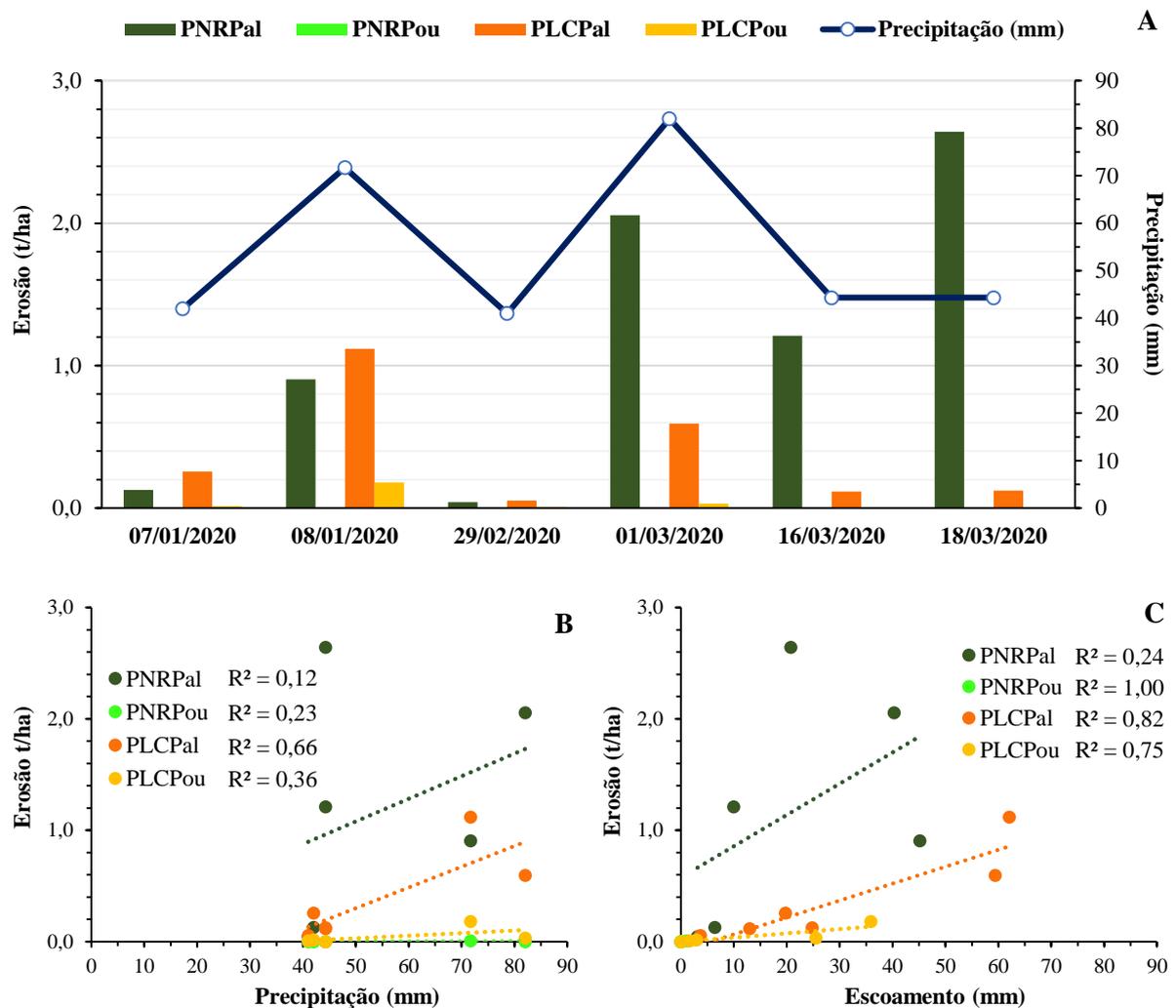
A infiltração da água no solo pode ser favorecida por gramíneas, vegetação herbácea (como no sistema de pousio das parcelas PNRPou e PLCPou) (CERDÀ, 1997), por serapilheira (DUNKERLEY, 2015; LOPES; MONTENEGRO; LIMA, 2019) e por vegetação nativa (LEITE et al., 2018; SANTOS et al., 2016).

A análise da umidade antecedente e sua influência na erosão dos solos foi avaliada para três eventos de chuva consecutivos. Nos dias 08 de janeiro, 01 de março e 18 de março, a erosão

somando todas as parcelas foi respectivamente de 2,208 t/ha⁻¹, 2,681 t/ha⁻¹ e 2,766 t/ha⁻¹ (Tabela 7; Figura 26 - A), sendo que nos três eventos anteriores, identifica-se a ocorrência de taxas erosivas menores, na ordem de 0,400 t/ha⁻¹ no dia 07 de janeiro, 0,106 t/ha⁻¹ no dia 29 de fevereiro e 1,327 t/ha⁻¹ no dia 16 de março, ambos em 2020. À medida que ocorrem chuvas em dias consecutivos, eleva-se a umidade antecedente do solo, que favorece o maior escoamento, e assim, ocorre o aumento das taxas erosivas.

A correlação estatística entre erosão e precipitação para dias consecutivos com chuva (Figura 26 – B), demonstra que apenas a parcela PLCPal tem boa correlação (66%), mas quando se relaciona a erosão com o escoamento (Figura 26 – C), observa-se uma ótima correlação para as parcelas PNRPou ($\pm 100\%$), PLCPal (82%) e PLCPou (75%).

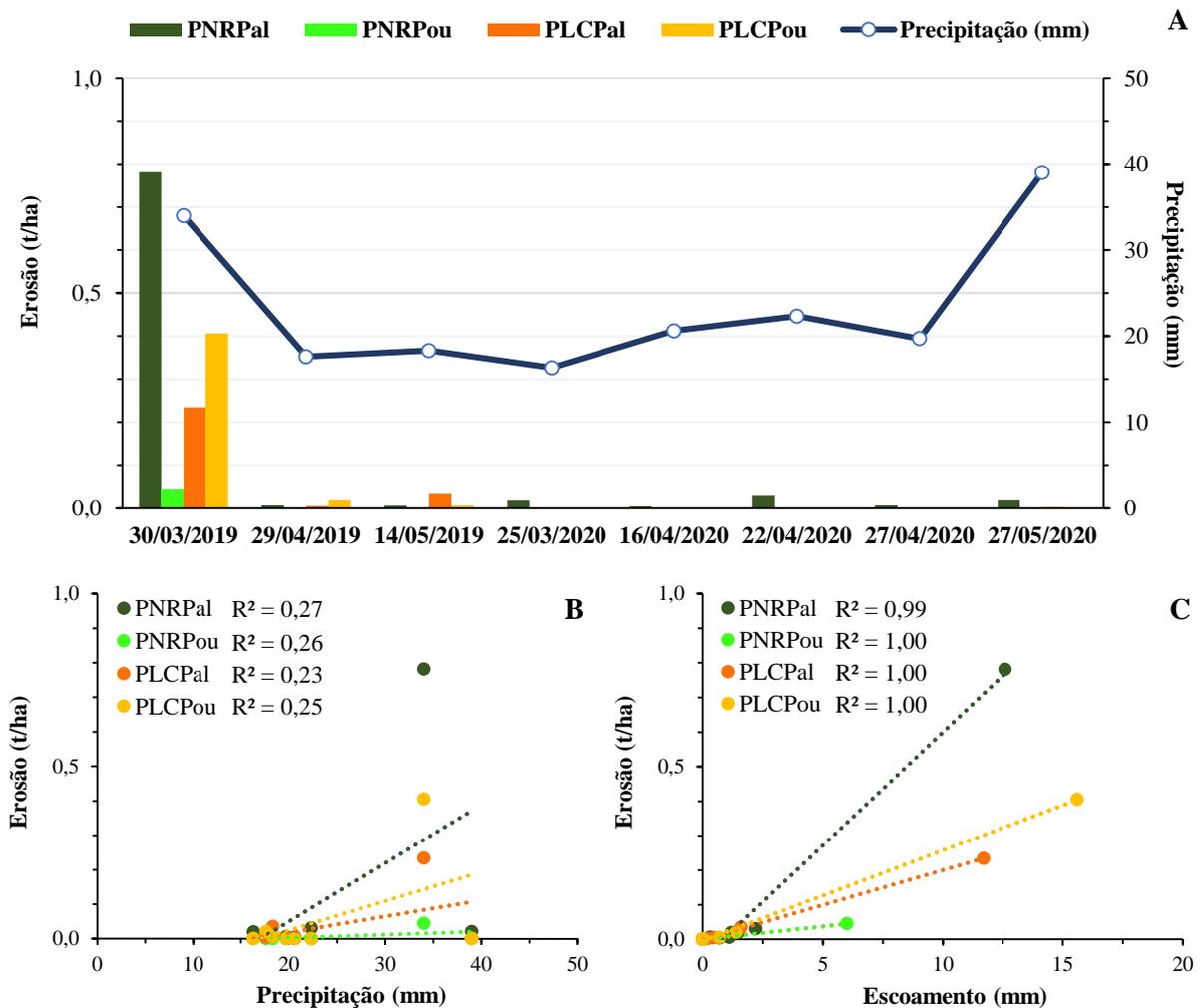
Figura 26: A) Taxas erosivas e precipitação; B) Coeficiente de Erosão em função da Precipitação; e, C) Coeficiente de Erosão em função do Escoamento. Para os eventos chuvosos consecutivos e em todas as parcelas.



A única parcela que não confirmou as duas correlações anteriores (Figura 27 – B e C) foi a PNRPal. Para compreender esse fato, é necessário entender que a dinâmica erosiva superficial, principalmente de ambientes semiáridos, é gerenciada por vários processos e fatores, que além da combinação desses elementos, precisa-se considerar as interações antrópicas nos sistemas naturais (HILLEL, 1991; MIRZABAEV et al., 2019; WANG et al., 2016; WOLKA et al., 2021).

Nos eventos isolados de precipitação, como na análise realizada entre precipitação e escoamento (Figura 21 - A e B), é possível verificar que ocorre uma certa homogeneidade entre os valos de erosão, excetuando apenas o evento do dia 30 de março de 2019¹⁶. A parcela PNRPal foi a única que gerou escoamento e erosão em todos os eventos citados (Figura 27 – A).

Figura 27: A) Taxas erosivas e precipitação; B) Coeficiente de Erosão em função da Precipitação; e, C) Coeficiente de Erosão em função do Escoamento. Para os eventos chuvosos isolados e em todas as parcelas.



¹⁶ A condição deste evento chuvoso, já foi descrito anteriormente (p. 84). Vale ressaltar que esse evento foi um dos maiores (em quantidade), ocorreu no início do período chuvoso e em um ano abaixo da média histórica, esse arranjo, favoreceu as elevadas taxas de escoamento superficial e erosão.

Ao contrário disso, a correlação entre erosão e escoamento para os dias com chuvas isoladas apresenta forte correlação (Figura 27 – C), sendo proporcional as variáveis, ou seja, todas as parcelas ficaram com aproximadamente $\pm 100\%$. Esta forte correlação se deu pela geração reduzida de escoamento superficial e erosão, sendo as vezes ausentes, como no caso das parcelas PNRPou, PLCPal e PLCPou. Corroborando com esses resultados, Montgomery (2007) e Wolka et al., (2021), ratificam que a erosão hídrica é causada principalmente pelo escoamento superficial, e tende a se intensificar com as interferências antropogênicas.

Seguindo com a análise das variáveis, a Tabela 8, traz os dados utilizados nas correlações da erosão com intensidade de precipitação média e máxima, para as parcelas PNRPal, PLCPal e PLCPou, já que a PNRPou não registrou escoamento e erosão, no período abordado.

Tabela 8: Intensidade da chuva e erosão.

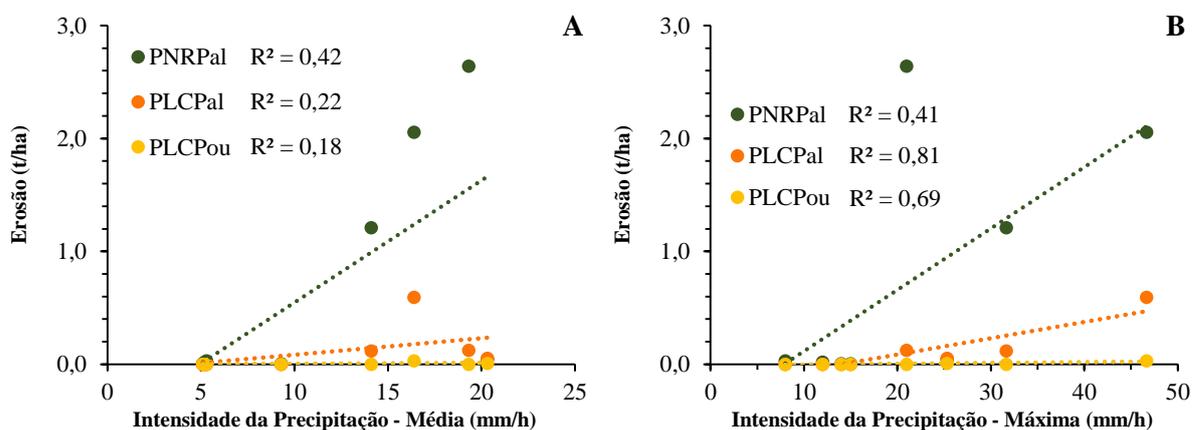
Eventos analisados	Precipitação mensurada (mm)	Duração da chuva (h)	Intensidade da Precipitação (mm/h)		Erosão mensurada (t/ha)		
			Média	Máxima	PNRPal	PLCPal	PLCPou
29-fev-2020	41,3	2	20,33	25,33	0,043	0,054	0,009
01-mar-2020	82	5	16,4	46,67	2,055	0,594	0,032
16-mar-2020	44,3	3	14,11	31,67	1,210	0,117	0,000
18-mar-2020	44,3	2	19,33	21	2,642	0,124	0,000
25-mar-2020	16,3	3	5,2	12	0,020	0,000	0,000
16-abr-2020	20,6	4	5,1	15	0,004	0,000	0,000
22-abr-2020	22,3	3	5,3	8	0,031	0,000	0,000
27-abr-2020	19,7	2	9,3	14	0,006	0,000	0,000

Associando os elementos da Tabela 8, com os gráficos da Figura 28 - A e B, averigua-se que a erosão se ajusta melhor a intensidade máxima da precipitação (Figura 28 – B) para as parcelas sobre o Luvissole Crômico (PLCPal e PLCPou), do que a intensidade média da precipitação, que por sua vez, apresenta melhor correlação para a parcela PNRPal (Figura 28 – A). Essa resposta estatística é inversamente proporcional à encontrada para o escoamento (Figura 23 – A e B) onde as parcelas PNRPal, PLCPal e PLCPou, apresentaram respectivamente 75%, 71% e 66%.

Esses resultados indicam que, a correlação tanto do escoamento, como da erosão com a intensidade da precipitação (volume/tempo) é mais importante para o Neossolo Regolítico do que para o Luvissole Crômico, visto que, a parcela PNRPal relatou maior discrepância na

porcentagem de correlação para essas duas variáveis (escoamento e erosão) do que as parcelas PLCPal e PLCPou.

Figura 28: A e B) Coeficiente de Escoamento em função da Intensidade da Precipitação, para as parcelas PNRPal, PLCPal e PLCPou.



Sob uma perspectiva abrangente, as taxas de erosão nas parcelas PNRPal e PNRPou somadas correspondem a $7,907 \text{ t/ha}^{-1}$, e, superam em 246,44% a totalidade das parcelas PLCPal e PLCPou, que juntas obtiveram $3,209 \text{ t/ha}^{-1}$. A parcela PNRPal sozinha gerou 240,96% mais erosão, do que todas as outras parcelas juntas (PNRPou, PLCPal e PLCPou).

Quando se compara as taxas de erosão das parcelas PNRPal e PNRPou, a diferença é ainda mais alarmante, onde a parcela PNRPal excede em mais de 152 vezes, as mensuradas na parcela PNRPou, ou seja, que uma simples mudança no uso da parcela PNRPou (cobertura de pousio), reduz drasticamente o escoamento superficial e a erosão, logo o manejo adequado do solo é imprescindível.

Os maiores valores de erosão encontrados na parcela PNRPal, podem ser creditados aos seguintes fatores: uso (cultivo da cultura da palma) e manejo, mesmo que o cultivo da palma tenha sido realizado em nível de forma transversal ao declive da encosta (transversal à parcela), seu manejo conforme as práticas tradicionais/locais se mostrou ineficiente na contenção tanto de água e principalmente de solo; associados as propriedades intrínsecas da classe de solo - Neossolo Regolítico, que por ser um solo muito incipiente (menos desenvolvido pedogeneticamente do que o Luvisolo Crômico), de textura franco-arenosa e apresentar estruturação pouca e fraca, reduz a capacidade de manutenção de C em seu interior, inviabilizando a formação de agregados mais estáveis, influenciando diretamente na sua resiliência perante a dinâmica hidrológica e erosiva.

Por outro lado, a parcela que gerou os menores valores de erosão foi justamente a PNRPou, que está posicionada sobre o mesmo solo que a PNRPal, neste caso, a proliferação e preservação da vegetação rasteira – herbáceas (sazonal), foi essencial para a contenção do escoamento e erosão, mesmo em um solo pouco desenvolvido como o Neossolo Regolítico. Logo, a cobertura vegetal é fundamental, pois contribui para aumentar a infiltração, reduzir o escoamento superficial e a erosão.

Ao reconhecer esse fato, conclui-se que o Neossolo Regolítico apresenta alta erodibilidade, pois gera menos escoamento superficial e ao mesmo tempo mais erosão, devido sua baixa resistência. Isto significa que a cobertura do sistema em pousio se mostrou fundamental para o Neossolo Regolítico, pois ele é muito vulnerável as mudanças de uso/cobertura.

A diferença nos valores de erosão encontrados (Tabela 7), alerta para a necessidade de compreender, como as mais diversas variáveis interagem na ocorrência dos processos erosivos superficiais, e posteriormente, rever e/ou elaborar planos de manejo dos solos que possibilitem a utilização consciente e sustentável desse recurso, minimizando os impactos gerados pelas ações antrópicas nos sistemas naturais, especialmente nas terras semiáridas.

Com o intuito de facilitar a compreensão dessas diferenças tanto nas taxas de escoamento, como de erosão, o Quadro 8, traz alguns exemplos de estudos que também utilizaram as parcelas hidro-erosivas sob chuva natural, em distintas classes de solos e usos/coberturas para mensuração do escoamento superficial e erosão em diferentes regiões.

Em uma breve análise comparativa, nota-se independentemente do tamanho da área de estudo, as mais diferentes regiões expõem uma elevada variabilidade espacial e temporal nos dados de escoamento e erosão, sendo intensificado nas áreas desprovidas de vegetação (solo exposto, áreas desmatadas, *badlands*) e em regiões semiáridas, reforçando a ideia de que esses são os ambientes mais susceptíveis a dinâmica da erosão hídrica (principalmente os semiáridos tropicais) no planeta.

Segundo Nadal-Romero e García-Ruiz (2018), as taxas de erosão em terras áridas e semiáridas são maiores do que em qualquer outro ambiente, sendo que as únicas taxas comparáveis são nas mais erodíveis áreas no Planalto de Loess, no Nordeste da China (YOU et al., 2019; ZHAO et al., 2013; ZHANG et al., 2019; ZHANG et al., 2021; ZHOU et al., 2019).

Quadro 8: Exemplo de diferentes estudos utilizando parcelas hidro-erosivas sob chuva natural, para mensurar o escoamento superficial e a erosão.

Localização da área de estudo	Clima ¹	Pluviosidade média (mm)		Solo ² ou litologia	TAE (m ²)	Uso/Cobertura	ESM (mm ⁻¹ ano ⁻¹)	EM (t/ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Período de dados	Referências
		Anual	MMDE							
Sumé/Paraíba, Nordeste do Brasil	Semiárido (<i>Bsh</i>)	574	695	Luvissole Crômico	100	Caatinga nativa	22,5	0,1	1983-1990	Albuquerque, Lombardi Neto e Srinivasan (2001)
						Caatinga nova	29,7	0,1		
						Área desmatada (1)	224,2	31		
						Área desmatada (2)	241	26		
Sumé/Paraíba, Nordeste do Brasil	Semiárido (<i>Bsh</i>)	574	566	Luvissole Crômico	100	Palma plantada morro abaixo	198	9,2	1983-1991	Santos, Silva e Srinivasan (2007)
São João do Cariri/Paraíba, Nordeste do Brasil		384	456			Palma plantada em nível	172,7	4,7	1999-2009	
						Solo exposto	173,9	4,2		
						Vegetação rasteira com cobertura morta	125,5	1		
Solo exposto	2003-2006									
Juazeirinho/Paraíba, Nordeste do Brasil	Semiárido (<i>Bsh</i>)	510	278	Neossolo Regolítico	10	Milho	54,6	10,2	(Jan-Jun) 2016	Xavier et al. (2016)
Bacia hidrográfica do Ribeirão Gama/Distrito Federal, Centro-Oeste do Brasil	Tropical úmido de Savana (<i>Aw</i>)	1600	719	Gleissolo	2	Mata galeria	3	0,5		
				Latossolo Vermelho-Amarelo		Cerrado	9,5	3		
Eldorado do Sul/Rio Grande do Sul, Sul do Brasil	Subtropical úmido (<i>Cfa</i>)	1400	±1050	Argissolo Vermelho	96	Plantação de eucalipto (2004)	242	0,81	2007-2012	Silva et al. (2016)
						Plantação de eucalipto (2001)	133	0,12		
São João Evangelista/ Minas Gerais, Sudeste do Brasil	Subtropical úmido (<i>Cwa</i>)	1180	714	Latossolo Vermelho-Amarelo	288	Solo exposto	811	12,03		
						Mata nativa	35	0,06		
Lanaja, Depressão de Ebro, Nordeste da Espanha	Semiárido (<i>Bsh</i>)	320	308,5	Xistos com arenitos	275	Solo exposto (<i>Badlands</i>)	±250	170,2	Nov/1991- Nov/1993	Sirvent et al. (1997)

1: Segundo a classificação de Köppen; 2: Baseado no Sistema brasileiro de classificação dos solos (SiBCS, 2018); **Anual**: Referente a média histórica anual de pluviosidade; **MMDE**: Média mensurada durante o estudo; **TAE**: Tamanho da área de estudo; **ES**: Escoamento Superficial mensurado em milímetros (mm⁻¹ ano⁻¹); **EM**: Erosão mensurada em toneladas por hectare (t/ha⁻¹ ano⁻¹).

Desta maneira, para efeito de comparação com os resultados alcançados neste trabalho, tem-se que Albuquerque, Lombardi Neto e Srinivasan (2001), em pesquisa desenvolvida no município de Sumé-PB (Cariri paraibano), contam que as parcelas com cobertura de Caatinga Nativa e Nova, geraram em média $0,1 \text{ t/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de erosão e 22,5 mm e 29,7 mm de escoamento respectivamente (Quadro 8).

Mesmo não sendo a mesma cobertura que as situadas nas parcelas PNRPou e PLCPou, os dados mencionados anteriormente, mostram que a preservação não só da cobertura vegetal, e nesse caso em especial a Caatinga, e das vegetações herbáceas e arbustivas como também o uso sustentável do solo contribuem significativamente para a redução das taxas de escoamento e erosão (LOPES; MONTENEGRO; LIMA, 2019; BRASIL et al., 2017).

Outra contribuição importante da preservação da Caatinga para a proteção do solo, contra os processos erosivos é descrito por Brasil et al. (2017), que ao estudarem a energia cinética da chuva, afirmam que o dossel da Caatinga interceptou cerca de 18,4% de um total 4567,5 mm de precipitação em todo o período de estudo (2010 a 2015), reduzindo o impacto direto das gotas de chuva e aumentando o armazenamento de água no solo (CALOIERO et al., 2016; MC LAUGHLIN et al., 2013).

Na parcela PLCPal o total gerado de escoamento foi de 197 mm e erosão de $2,5 \text{ t/ha}^{-1}$ (Tabela 6 e 7), divididos em 13,8 mm e $0,3 \text{ t/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 2019, e 183 mm e $2,2 \text{ t/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 2020, quando comparadas aos dados encontrados por Santos, Silva e Srinivasan (2007) no Quadro 7, percebe-se semelhança apenas no escoamento do ano de 2020, já a erosão mensurada da parcela PLCPal do mesmo ano, corresponde apenas a 47% ($4,7 \text{ t/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ - palma plantada em nível) e 24% ($9,2 \text{ t/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ - palma plantada morro abaixo), isto significa que o plantio da palma feito de forma transversal a declividade da encosta em nível é mais eficaz na redução do escoamento superficial e da erosão, principalmente em anos com menos chuva, como o de 2019.

Xavier et al. (2016), identificaram que a parcela com cobertura de palma perdeu $6,6 \text{ t/ha}^{-1}$ de solo, esse resultado supera em 8,3 e 22 vezes respectivamente, os mensurados nas parcelas PNRPal ($0,8 \text{ t/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e PLCPal ($0,3 \text{ t/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) para o ano de 2019, e em 3 vezes o quantificado na PLCPal ($2,2 \text{ t/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) no ano de 2020, ficando abaixo apenas do mensurado na parcela PNRPal ($7,1 \text{ t/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) de 2020. Mesmo em apenas seis meses de monitoramento e com chuvas abaixo da média esperada (66,9%) para o período do estudo (XAVIER et al., 2016), é evidente a vulnerabilidade perante os processos erosivos em ambientes de solos mais arenosos (Neossolo Regolítico), necessitando de maior atenção ao ser utilizado e/ou manejado.

A discrepância nas taxas erosivas, podem ser creditadas as classes de solos em que estão posicionadas as parcelas, onde de forma geral o Luvisolo Crômico (PLCPal) mesmo

registrando as maiores taxas de escoamento superficial (Tabela 6), se mostrou mais resistente a erosão que o Neossolo Regolítico (PNRPal), ou seja, solos com processos pedogenéticos mais desenvolvidos e de melhor estruturação, favorecem a formação de agregados mais estáveis (neste caso o Luvisolo Crômico) do que solos muito incipientes e com pouca ou quase nenhuma estruturação, que não possibilitam um alto grau de estabilidade dos agregados (neste caso o Neossolo Regolítico).

A variância encontrada nos dados do Quadro 8, exemplifica como a dinâmica hidrológica e os processos erosivos superficiais são dinâmicos, resultando de uma complexa combinação dos fatores controladores e agentes geradores, e isso ainda é mais heterogêneo em ambientes semiáridos (MIRZABAEV et al., 2019; NADAL-ROMERO; GARCÍA-RUIZ, 2018; OLSSON et al., 2019; SANTOS et al., 2018; WANG et al., 2016; WOLKA et al., 2021).

Continuando com a análise do Quadro 8, sob uma perspectiva geral, visualiza-se a importância do uso/cobertura no controle dos processos erosivos, onde ambientes desprovidos de proteção de vegetação e/ou cobertura morta (solo exposto), geram as maiores taxas tanto de escoamento superficial como de erosão (ALBUQUERQUE; LOMBARDI NETO; SRINIVASAN, 2001; SANTOS; SILVA; SRINIVASAN, 2007; SILVA et al., 2016; SIRVENT et al., 1997), seguidos das monoculturas (OLIVEIRA, 2015; SANTOS; SILVA; SRINIVASAN, 2007; XAVIER et al., 2016) e apresentam menores valores quando em situação de preservação da vegetação nativa (ALBUQUERQUE; LOMBARDI NETO; SRINIVASAN, 2001; OLIVEIRA, 2015; SILVA et al., 2016) e/ou com o cultivo de culturas perenes, como do Eucalipto (SILVA et al., 2016, SILVA et al., 2010).

Para este estudo, identificou-se que as principais variações nos resultados de escoamento superficial e erosão foram originados pelas classes de solos (Neossolo Regolítico e Luvisolo Crômico) e suas propriedades (como por exemplo: textura e estrutura), associadas aos usos das parcelas (cultura da palma e pousio), pois variáveis como precipitação e declividade foram semelhantes para todas as parcelas.

Sendo assim, é oportuno evidenciar o fato de que as parcelas posicionadas sobre o Luvisolo Crômico (PLCPal e PLCPou) geraram mais escoamento do que as parcelas situadas sobre o Neossolo Regolítico (PNRPal e PNRPou), mas obteve taxas inferiores de erosão. Realçar essas características é fundamental para os estudos dos processos erosivos, mesmo as parcelas tendo usos e coberturas semelhantes.

Nesse caso, o Luvisolo Crômico, se mostrou mais resistente a erosão que o Neossolo Regolítico. Uma das explicações plausíveis para este fato está nas características das propriedades físicas dos solos estudados, onde o Luvisolo Crômico por ser mais argiloso, mais

denso e melhor estruturado (maior estabilidade dos agregados), oferece maior resistência a erosão do que o Neossolo Regolítico, que por sua vez é mais arenoso, menos denso e menos estruturado (menor estabilidade dos agregados).

6.3.1 Análise dos sedimentos coletados das parcelas

A análise dos sedimentos transportados pelo escoamento superficial, para quantificar o efeito complexo da erosão, é primordial na compreensão da fertilidade dos solos, da estruturação dos agregados, da retenção e disponibilidade de água (para as plantas), da estruturação das plantas e da própria resiliência do ambiente (ALTHOFF et al., 2018; CHARTIER; ROSTAGNO; VIDELA, 2013; LAL, 2018; MARTÍNEZ-MENA et al., 2002 e 2020; MIRZABAEV et al., 2019; SANTANA et al., 2019; TRAORÉ et al., 2015; WOLKA et al., 2021; ZHANG et al., 2019).

Diante disto, para esta pesquisa, os elementos analisados dos sedimentos coletados nas parcelas hidro-erosivas da EEMPAS, foram o Carbono (C), Nitrogênio (N) (propriedades químicas) e a granulometria (propriedades físicas), em todo o período de monitoramento (março de 2019 a dezembro de 2020), como expressos na Tabela 9.

Esses elementos foram selecionados, visto que, os processos erosivos superficiais tendem a remover seletivamente nutrientes (como o C e N) e as partículas mais finas e leves (como a argila) que são mais vulneráveis do que as partículas mais grosseiras do solo (CHARTIER; ROSTAGNO; VIDELA, 2013; MARTÍNEZ-MENA et al., 2002; 2020; SANTANA et al., 2019; SCHIETTECATTE et al., 2008; SHI et al., 2017; SHI; SCHULIN, 2018).

Os dados da Tabela 9 e dos gráficos da Figuras 29 - A e B, revelam que a variação da composição entre diferentes classes de solos sob distintos usos/tratamentos, estão intimamente ligados e controlam não apenas as perdas por erosão, como também a seletividade dos materiais transportados nesse processo em terras semiáridas do Nordeste brasileiro, especificamente do Cariri paraibano.

As análises laboratoriais das parcelas PNRPou e PLCPou mostram que as perdas de C e N, foram respectivamente de 23,71 dag/kg e 20,41 dag/kg para C e 0,824 dag/kg e 0,688 dag/kg para N, sendo proporcionalmente maiores do que as encontradas nas parcelas PNRPal e PLCPal que perderam respectivamente cerca de 7,24 dag/kg e 10,21 dag/kg de C e 0,327 dag/kg e 0,531 dag/kg de N (Tabela 9; Figura 29 – A e B).

Esse resultado provavelmente está vinculado a instalação e preservação da vegetação herbácea, pois diferentemente do cultivo da palma que é realizada a limpeza¹⁷, no sistema de pousio o ambiente está em descanso (sem qualquer tipo de interferência antropogênica) e à medida que essa vegetação se prolifera, proporciona maior proteção ao solo contra a erosividade da chuva e reduz o escoamento superficial.

Sendo assim, quando ocorre a geração de escoamento superficial, os materiais transportados serão mais seletivos no sistema de pousio (PNRPou e PLCPou) do que no cultivo da palma (PNRPal e PLCPal). Colaborando com essa interpretação, Chartier, Rostagno e Videla (2013) em estudos sobre a seletividade dos processos erosivos no semiárido do Nordeste da Patagônia (Argentina), trazem que áreas com gramíneas e serapilheira estão fortemente relacionadas com a seletividade de C, N e argila nos sedimentos.

De modo geral, a seletividade nos sedimentos de C, N e argila, está relacionada a disponibilidade de N, a atividade biológica e o teor de argila que afetam diretamente a dinâmica do C no solo (GÄRDENÄS et al., 2011; KNICKER, 2011; LAL, 2018), principalmente quando se trata de ambientes semiáridos (AMEEN; HAN; XIE, 2019; GIONGO et al., 2011; SANTOS et al., 2011).

Müller-Nedebock, Chivenge e Chaplot (2016) e Wolka et al., (2021), advertem ainda que o potencial de ligação das partículas mais finas do solo, como argila e o silte aumenta conforme a quantidade e associação de C com esses materiais e, à medida que ocorrer a erosão, maior será a concentração de C no material erodido.

Continuando com a análise dos dados da Tabela 9, quando se associa a quantidade de C e N erodidos ao total de erosão mensurados, identifica-se que as parcelas com a cultura da palma perderam mais C e N que as parcelas em pousio, estando distribuídos da seguinte forma, a parcela PNRPal com 568,77 kg/ha⁻¹ de C e 25,69 kg/ha⁻¹ de N, a parcela PLVP com 259,27 kg/ha⁻¹ de C e 13,48 kg/ha⁻¹ de N, a parcela PLCPou com 136,61 kg/ha⁻¹ de C e 4,61 kg/ha⁻¹ de N, e a parcela PNRPou com 12,23 kg/ha⁻¹ de C e 0,43 kg/ha⁻¹ de N (Figura 29 – B).

¹⁷ Essa “limpeza” é a retirada frequente de ervas daninhas (normalmente vegetação herbácea) que se prolifera nos períodos chuvosos dentro dos campos de palma. Essa é a forma como os agricultores no semiárido brasileiro e mais especificamente no Cariri paraibano, costumam manejar seus campos de palma.

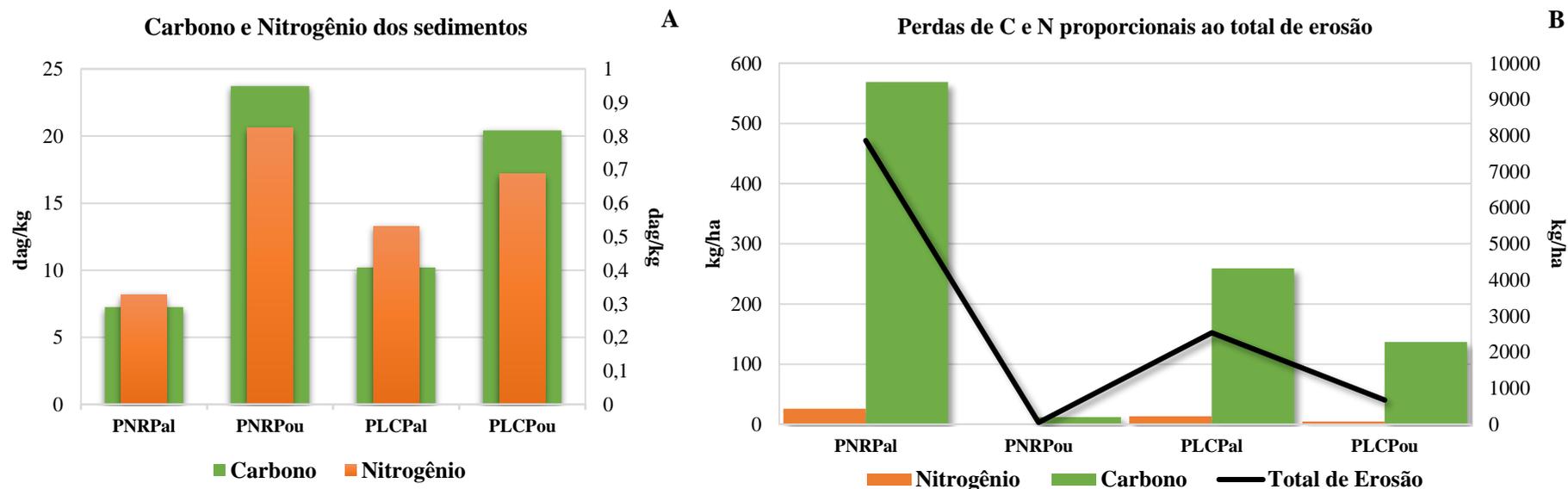
Tabela 9: Dados das análises dos sedimentos coletados nas parcelas hidro-erosivas durante todo o período de monitoramento.

Parcelas hidro-erosivas	Escoamento superficial mensurado (mm)	Erosão mensurada (kg/ha)	Sedimentos analisados								
			Propriedades Químicas				Propriedades Físicas				
			C*	N*	C**	N**	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe textural
----dag/kg----		----kg/ha ⁻¹ ----		-----kg-kg-----							
PNRPal	145,8	7855,9	7,24	0,327	568,77	25,69	0,517	0,214	0,136	0,133	Franco-arenosa
PNRPou	7,1	51,6	23,71	0,824	12,23	0,43	-	-	-	-	-
PLCPal	196,8	2539,4	10,21	0,531	259,27	13,48	0,040	0,037	0,344	0,579	Argilosa
PLCPou	84,1	669,3	20,41	0,688	136,61	4,61	0,048	0,027	0,290	0,635	Muito argilosa

Observação: Não foi possível fazer as análises da granulometria dos sedimentos da parcela PNRPou, por insuficiência de material coletado.

(*) Dados laboratoriais

(**) Dados proporcionais para cada parcela de acordo com a erosão total mensurada

Figura 29: Gráficos das propriedades químicas analisadas: A) Quantidade de Carbono e Nitrogênio; e, B) Perdas de C e N proporcionais ao total de erosão.

A explicação para isso está amplamente difundida na literatura, onde áreas com interferência antropogênica (nesse caso a agricultura, por meio do manejo da cultura da palma) intensificam as perdas por erosão de componentes importantes para o solo e plantas, como o C e N (BORRELLI et al., 2018; 2020;; LIU; URISSEI; LAL, 2016, LAL, 2018; POESEN, 2017; SHI; SCHULIN, 2018; YUAN et al., 2020), sendo mais agravante para ambientes semiáridos (ADIMASSU; TAMENE; DEGEFIE, 2020; ALTHOFF et al., 2018; SANTOS et al., 2011; WOLKA et al., 2021).

Outro fator importante que é preciso destacar sobre os maiores valores de C e N carregados na parcela PNRPal, está relacionado a natureza da classe de solo, pois solos com menores teores de argila (neste caso o Neossolo Regolítico) possuem menor capacidade de proteger fisicamente o material orgânico, além da menor estabilidade química em consequência da menor quantidade de óxidos de ferro, o que leva, no período chuvoso, à maior atuação dos microrganismos e das enzimas (GIONGO et al., 2011).

Partindo para a análise granulométrica dos sedimentos (Tabela 9; Figura 30), chama-se a atenção para o fato de que a única parcela que não teve sua granulometria quantificada foi a PNRPou, devido a insuficiência do material coletado¹⁸. Isso reflete a capacidade que o sistema de pousio no Neossolo Regolítico obteve em proteger o solo do impacto direto da chuva, do escoamento superficial e da erosão, além de aumentar a infiltração.

Sendo assim, apenas a granulometria dos sedimentos das parcelas PNRPal, PLCPal e PLCPou, foram quantificados. Ao avaliar os dados granulométricos da Tabela 9 e o gráfico da Figura 30, fica evidente a íntima relação dos sedimentos com o material de origem (solo), onde a parcela sobre o Neossolo Regolítico (PNRPal), perdeu mais areia grossa (51,7%) e areia fina (21,4%), restando apenas 13,6% para o silte e 13,3% para a argila, refletindo uma classe textural franco-arenosa.

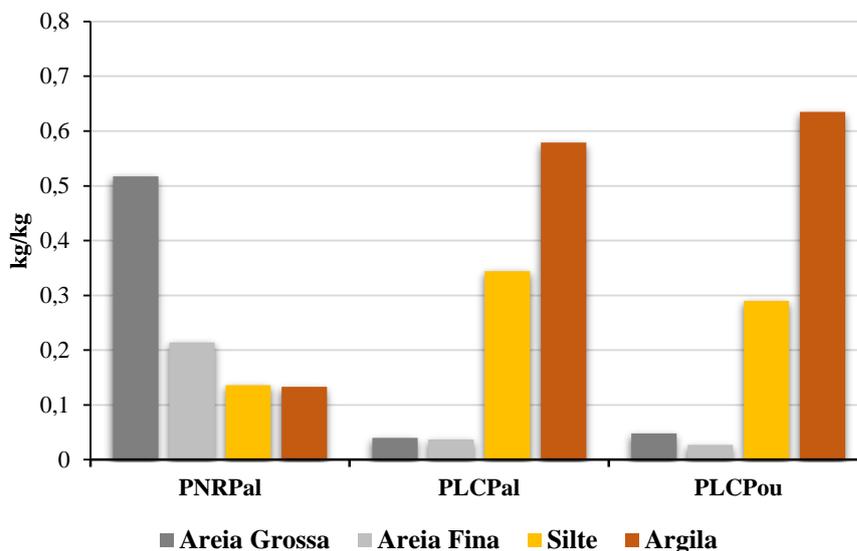
A explicação para o caso da parcela PNRPal, está relacionada a natureza do Neossolo Regolítico e ao uso/manejo da palma, uma vez que o Neossolo Regolítico por ser mais arenoso, (classe textural fraco-arenosa), muito incipiente e de estruturação pouca/fraca (pouco desenvolvido pedogeneticamente – menor estabilidade dos agregados).

Quando submetido ao manejo da palma, que realiza a limpeza das ervas daninhas (vegetação herbácea), fica amplamente desprotegido ao impacto direto das chuvas

¹⁸ Como a quantidade de material coletado na parcela PNRPou foi bem abaixo das coletadas nas outras parcelas, priorizou-se a análises de C e N, por entender que as perdas dos nutrientes são mais significativas, do que a granulometria, para o contexto do desenvolvimento das culturas, interferindo diretamente nas práticas agrícolas das comunidades locais.

(principalmente as de maior intensidade), que elevam a quantidade e velocidade do escoamento superficial, resultando em maior capacidade de transporte de material (LOPES; MONTENEGRO; LIMA, 2019; SANTOS et al., 2011).

Figura 30: Granulometria dos sedimentos.



A granulometria dos sedimentos das parcelas sobre o Luvissole Crômico (PLCPal e PLCPou) quando comparadas proporcionaram porcentagens semelhantes para todas as frações, onde a PLCPal forneceu 57,9% de argila, 34,4% de silte, 3,7% de areia fina e 4,0% de areia grossa, se configurando como uma classe textural argilosa, já a parcela PLCPou contou com 63,5% de argila, 29,0% de silte, 2,7% de areia fina e 4,8% de areia grossa, sendo classificada com uma classe textural muito argilosa (Tabela 9; Figura 30).

A semelhança encontrada para os sedimentos das parcelas PLCPal e PLCPou, se deve ao fato de que o Luvissole Crômico é menos incipiente que o Neossolo Regolítico, comporta maiores teores de argila em sua formação e apresenta uma estrutura muito forte (mais desenvolvido pedogeneticamente - maior estabilidade dos agregados), que favorecem sua maior resistência as mudanças de uso/cobertura impostas por atividades antrópicas.

Mesmo com certa homogeneidade, explicita-se aqui que a parcela em sistema de pousio (PLCPou), perdeu 5,6% a mais de argila do que a parcela com a cultura da palma (PLCPal). Essa maior seletividade obtida na granulometria dos sedimentos da parcela PLCPou, está vinculada a cobertura vegetal herbácea desenvolvida no sistema de pousio, que evitou o impacto direto das gotas de chuva na superfície do solo (CHARTIER; ROSTAGNO; VIDELA, 2013; LOPES; MONTENEGRO; LIMA, 2019; TRAORÉ et al., 2015).

Kiani-Harchegani, Sadeghi e Asadi (2017) destacam a relevância de se considerar todas as variáveis que interferem nos processos de transporte de sedimentos para uma melhor compreensão da dinâmica da granulometria. Por entender que a erosão nos solos é um processo de alta complexidade, sendo necessários mais estudos para melhorar a compreensão dos mecanismos e impactos de erosão (ANACHE et al., 2017; BASHARI et al., 2013), principalmente no semiárido brasileiro (GIONGO et al., 2011; LOPES; MONTENEGRO; LIMA, 2019; SANTANA et al., 2019; SANTOS et al., 2011).

Entender essa dinâmica entre a granulometria e os nutrientes é fundamental para a compreensão dos processos erosivos superficiais, e dos possíveis impactos à resiliência do ambiente, uma vez que a análise qualitativa dos sedimentos, permite identificar quais são os principais componentes e em que quantidade estão sendo erodidos.

Para tanto, dá-se ênfase nesse estudo ao C, N e o teor de argila dos sedimentos analisados em todas as parcelas, pois além de terem uma íntima relação, são fundamentais para a estruturação dos solos (resistência aos processos erosivos superficiais) e para a nutrição das plantas (estruturação, desenvolvimento e proliferação da vegetação) (AMEEN; HAN; XIE, 2019; CHARTIER; ROSTAGNO; VIDELA, 2013; MERINO-MARTÍN et al., 2021; TISDALL; OADES, 1982; TRAORÉ et al., 2015; WOLKA et al., 2021).

O nível de agregação e a estabilidade dos agregados melhoram com o aumento do conteúdo de C, de teores de argila e da capacidade de troca catiônica (BRONICK; LAL, 2005; DUO et al., 2020; MUSTAFA et al., 2020), pois partículas de argila floculada, ou seus complexos com húmus e C do solo, atuam como o principal agente cimentante dos agregados do solo (JAKŠÍK et al., 2015; MERINO-MARTÍN et al., 2021; TISDALL; OADES, 1982).

O C, além de elevar a qualidade e a estabilidade dos agregados, também favorece o maior armazenamento de água (HUDSON, 1994), sendo fundamental para o desenvolvimento da biota do solo (fauna e flora) (FRANKLIN et al., 2016; LIU; URISSI; LAL, 2016), pois em ambientes com chuvas reduzidas e irregulares (como o semiárido brasileiro – Cariri paraibano), qualquer umidade que possa ser mantida e/ou disponibilizada por mais tempo é fundamental para o solo e principalmente para o ecossistema (SANTANA et al., 2019).

Portanto, os solos ricos em C, como os de muitas regiões úmidas, são mais resilientes do que os solos com baixos teores de C, como aqueles que predominam em áreas áridas e semiáridas (MARTÍNEZ-MENA et al., 2002), evidenciando ainda mais a importância de se utilizar conscientemente e de forma sustentável os recursos nesses ambientes naturalmente instáveis.

Já para as plantas, o C é a substância e fonte de energia de processos fisiológicos e bioquímicos e o N é um componente importante de proteínas vegetais e ácidos nucléicos (LUO et al., 2017), ambos desempenham um papel crucial no crescimento das plantas e na produtividade das culturas (AMEEN; HAN; XIE, 2019).

Dessa forma, as elevadas perdas dos nutrientes C e N das parcelas sob o cultivo da palma (PNRPal e PLCPal) mensuradas neste estudo, permitem afirmar que as atividades antrópicas no semiárido paraibano, além de interferirem no equilíbrio do sistema, intensificam a degradação dos solos. Então a medida que se perde nutrientes como o C e o N (essenciais a estruturação dos solos e nutrição das plantas), agrava-se ainda mais a fragilidade dos ecossistemas (FAO, 2015; 2019a; LAL, 2018; OLSON et al., 2016).

Os altos teores de argila transportados, principalmente para as parcelas sobre o Luvissole Crômico (PLCPal e PLCPou), podem afetar a estabilidade dos agregados, uma vez que solos com pouco teor de C (como no caso do Neossolo Regolítico e Luvissole Crômico em questão), normalmente dependem da natureza dos agentes estabilizadores dos agregados constituintes, como por exemplo: quantidade de argila, cátions polivalentes, óxidos de ferro e alumínio, para favorecer a agregação e estabilidade dos agregados (CHARTIER; ROSTAGNO; VIDELA, 2013).

De todo modo, as parcelas em sistema de pousio (PNRPou e PLCPou), foram eficientes na proteção ao solo contra o impacto direto das chuvas e dos processos de escoamento e erosão. Este fato revela que uma simples mudança no uso e/ou cobertura pode afetar severamente o equilíbrio do sistema, pois a retirada total da cobertura vegetal e/ou o manejo inadequado das culturas, interferem diretamente no sistema de reposição de C e N ao solo. E vale ressaltar que nutrientes como C e N, só podem ser fixados (*input*) ao solo por meio da atividade biológica (ALCÂNTARA; REIS, 2008).

A perda desses nutrientes (C e N) e de partículas (como a argila) afetam diretamente a resiliência do ambiente (que é a capacidade do ambiente naturalmente se regenerar) (MIRZABAEV et al., 2019; OLSSON et al., 2019; PRINCE et al., 2018), e quando os decréscimos são excessivos podem levar essas áreas (Cariri paraibano) ao processo de desertificação.

Perdendo sua capacidade de sustentar a vida, o agricultor vai precisar desmatar novas áreas, adquirir terrenos maiores, abandonar as áreas antigas, e conseqüentemente, irá degradar cada vez mais o ambiente. E isso é muito importante, logo, é necessário repensar a forma do manejo do solo no semiárido.

Por isso, se faz necessário a ampliação de estudos que não se atenam apenas em quantificar o escoamento superficial e a erosão, como também analisar a qualidade do material que está sendo erodido durante os eventos chuvosos (especialmente no semiárido brasileiro).

A partir desse conhecimento será possível elaborar propostas de manejo sustentáveis para cada peculiaridade encontrada no sistema clima-relevo-solo-vegetação, visando minimizar os impactos das atividades humanas e fornecer subsídios aos agricultores em termos de conhecimento, assistência técnica, capacitação, apoio financeiro (crédito e/ou financiamento) e tecnologia.

6.4 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

Os ensaios de infiltração (Tabela 10), como já mencionado anteriormente, foram realizados em ambos os solos da EEMPAS (Neossolo Regolítico e Luvisolo Crômico), numa periodicidade de uma vez por mês, durante o ano de 2020, com o auxílio dos infiltrômetros de anel (sem removê-los do local).

Tabela 10: Condições gerais dos ensaios de infiltração, realizados na EEMPAS.

Data dos ensaios	Pluviosidade anterior ao ensaio (mm)	Infiltração acumulada no ensaio (mm)		Umidade antecedente (mm)	
		NR	LC	NR	LC
13/01/2020	123,6*	71	255	343,6	229,6
25/02/2020	30,5*	215	113	101,5	285,5
21/03/2020	232,8*	157	53	447,8	345,8
25/04/2020	171,5*	216	67	328,5	224,5
23/05/2020	29*	204	81	245	96
26/06/2020	81*	193	61	285	162
27/07/2020	10,4*	176	53	203,4	71,4
28/08/2020	0,9*	164	47	176,9	53,9
30/09/2020	4,5*	176	51	168,5	51,5
31/10/2020	0*	174	47	176	51
30/11/2020	1,9*	160	48	175,9	48,9
31/12/2020	0,3*	202	45	160,3	48,3

(*) Referem-se ao período de pluviosidade ocorrido entre os ensaios de infiltração.

NR: Neossolo Regolítico. LC: Luvisolo Crômico.

Antes de discutir os resultados dos ensaios, é preciso esclarecer algumas variáveis que influenciam diretamente o processo de infiltração de água nos solos, como a temporalidade e condições de umidade antecedente em que se encontravam os solos, antes dos ensaios. A Tabela

10, expõe alguns dados importantes para facilitar a compreensão a respeito das mensurações realizadas em campo.

De acordo com a Tabela 10, tem-se que: a pluviosidade anterior ao ensaio é considerada toda chuva natural que ocorreu entre os ensaios; a infiltração acumulada no ensaio é referente a toda quantidade de água que infiltrou durante o ensaio; e a umidade antecedente é a soma da pluviosidade ocorrida antes do ensaio e a quantidade de água infiltrada no ensaio anterior.

Sendo assim, verifica-se que conforme os dados alcançados com os ensaios de infiltração, para os dois solos da EEMPAS, um maior equilíbrio para os índices de Velocidade de Infiltração Inicial (VII) no Neossolo Regolítico, exceto os meses de janeiro (120 mm/h^{-1}) e março (360 mm/h^{-1}), que apresentaram os menores valores, resultando da umidade antecedente (nesse caso maior), já os ensaios que obtiveram maiores índices de VII, foram justamente os meses mais secos (agosto, setembro e novembro com 960 mm/h^{-1} e outubro e dezembro com 1080 mm/h^{-1}) (Tabela 11).

Para os ensaios realizados no Luvisolo Crômico, percebe-se uma maior variação em relação as taxas de VII, destacando os meses de março (360 mm/h^{-1}), abril (240 mm/h^{-1}) e maio (360 mm/h^{-1}) de 2020, que ficaram com os menores índices (Tabela 11). Tal fato pode estar correlacionado com a capacidade do Luvisolo Crômico ser maior do que o Neossolo Regolítico em reter umidade no seu interior, por conta de sua textura, estrutura e porosidade.

Bertoni e Lombardi Neto (2005) e Dexter (2004a; 2004b) afirmam que solos com maiores teores de argila normalmente retêm mais água em seu interior do que solos mais arenosos, mesmo que sua textura dificulte (em alguns períodos do ano) a infiltração, principalmente os horizontes subsuperficiais, enquanto os solos mais arenosos permitem uma boa infiltração, mas não favorecem a retenção de umidade¹⁹.

¹⁹ Isso não se aplica aos solos arenosos com altos teores de matéria orgânica (MO), pois a MO além de favorecer uma boa infiltração, também possibilita uma retenção maior de água no solo, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento da fauna e flora, além de atuar como agente agregador, aumentando assim sua resistência aos processos erosivos (FAO, 2015).

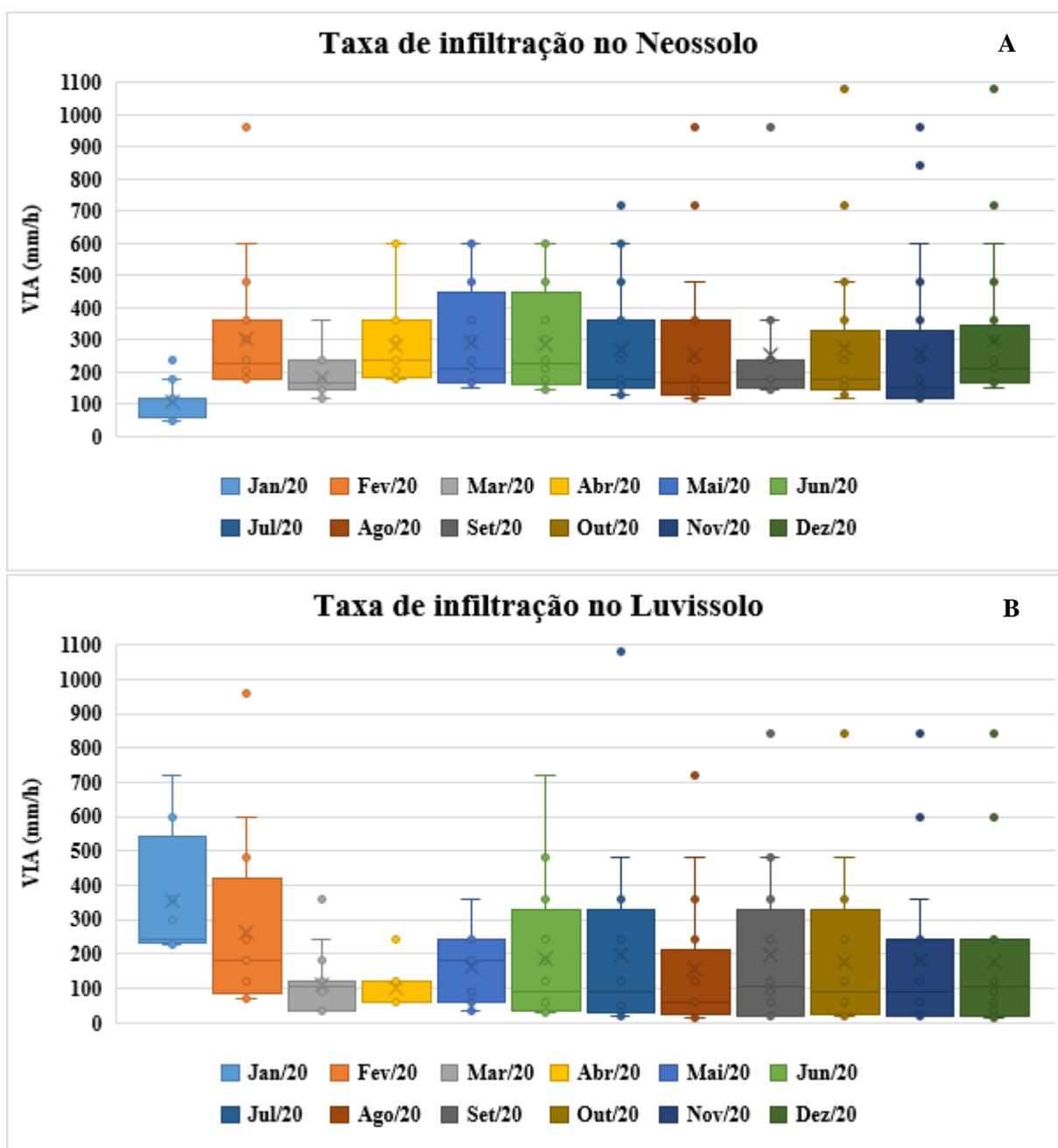
Tabela 11: Dados da velocidade de infiltração da água, nos ensaios realizados nos solos da EEMPAS.

Tempo (min.)	Velocidade de Infiltração da água (mm/h ⁻¹)																									
	2020																									
	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		Média	
	NR	LC	NR	LC	NR	LC	NR	LC	NR	LC	NR	LC	NR	LC	NR	LC	NR	LC	NR	LC	NR	LC	NR	LC	NR	LC
00:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00:30	120	720	960	960	360	360	600	240	600	360	600	720	720	1080	960	720	960	840	1080	840	960	840	1080	840	750	800
01:00	120	600	600	600	240	240	600	240	600	240	600	480	600	480	720	480	960	480	720	480	840	600	720	600	610	460
01:30	120	600	480	480	240	120	360	120	600	240	480	360	600	360	480	360	360	480	720	360	600	360	600	240	470	340
02:00	120	600	480	480	240	120	360	120	480	240	480	360	480	360	360	240	240	360	480	360	480	240	480	240	390	310
02:30	240	-	480	-	240	-	360	-	480	-	480	-	480	-	360	-	240	-	480	-	480	-	480	-	400	-
03:00	120	360	360	240	120	120	360	120	480	180	480	240	480	240	360	120	360	240	360	240	360	240	480	120	360	205
03:30	120	-	360	-	240	-	360	-	480	-	480	-	360	-	360	-	360	-	360	-	240	-	360	-	340	-
04:00	240	360	480	240	120	120	360	120	360	240	360	180	360	120	360	120	240	240	240	120	240	120	240	240	300	185
04:30	120	-	360	-	240	-	360	-	360	-	360	-	240	-	240	-	240	-	240	-	240	-	360	-	240	-
05:00	120	240	360	240	240	180	240	60	240	180	360	180	360	120	240	120	240	120	240	120	240	120	300	120	265	150
06:00	180	240	300	180	120	120	300	60	300	240	300	120	240	120	240	60	240	120	180	120	180	120	240	120	235	135
07:00	120	-	240	-	180	-	300	-	300	-	240	-	240	-	240	-	240	-	180	-	180	-	210	-	228	-
08:00	180	240	180	180	120	90	180	60	180	180	240	60	180	60	180	60	180	60	180	60	240	60	180	60	210	90
09:00	120	-	240	-	180	-	240	-	180	-	240	-	180	-	180	-	180	-	120	-	150	-	180	-	186	-
10:00	180	300	180	120	180	90	240	60	180	180	180	60	180	60	120	60	180	60	180	30	150	60	180	60	178	95
12:00	60	-	210	-	150	-	210	-	240	-	210	-	150	-	120	-	180	-	180	-	150	-	210	-	173	-
14:00	60	-	240	-	180	-	210	-	210	-	180	-	150	-	120	-	150	-	150	-	120	-	180	-	163	-
15:00	-	240	-	90	-	48	-	60	-	90	-	60	-	48	-	30	-	24	-	24	-	36	-	36	-	66
16:00	60	-	180	-	180	-	240	-	180	-	180	-	150	-	150	-	150	-	150	-	150	-	120	-	160	-
18:00	60	-	180	-	150	-	210	-	210	-	180	-	150	-	150	-	150	-	150	-	120	-	210	-	160	-
20:00	60	240	180	90	180	36	240	60	150	60	180	36	150	36	150	30	150	24	150	24	150	24	150	24	158	57
25:00	60	-	204	-	156	-	216	-	180	-	180	-	156	-	144	-	156	-	156	-	132	-	168	-	159	-
30:00	60	228	180	84	156	36	204	66	168	60	156	36	144	24	144	24	156	18	144	24	120	18	168	18	150	53
35:00	60	-	180	-	156	-	180	-	168	-	156	-	156	-	132	-	144	-	132	-	132	-	168	-	147	-
40:00	60	228	180	72	144	36	180	60	168	48	156	30	144	18	144	12	144	18	144	18	132	18	168	12	147	48
45:00	48	-	180	-	144	-	180	-	168	-	156	-	144	-	132	-	144	-	132	-	120	-	168	-	143	-
50:00	48	228	180	72	144	36	180	60	168	36	144	30	132	18	120	12	144	18	132	18	120	18	168	12	140	47
55:00	48	-	180	-	132	-	180	-	168	-	144	-	132	-	120	-	144	-	132	-	120	-	168	-	139	-
01:00:00	48	228	180	72	132	36	180	60	168	36	144	30	132	18	120	12	144	18	132	18	120	18	168	12	139	47

NR: Neossolo Regolítico. LC: Luvisso Crômico

Nos gráficos de todos os ensaios realizados (Figura 31 – A e B), ficou claro a diminuição da infiltração nos meses do período chuvoso, em relação aos meses mais secos, ou seja, no período chuvoso a umidade do solo é mais alta e, conseqüentemente a velocidade de infiltração diminui, já no período seco a umidade do solo é mais baixa, logo a velocidade de infiltração é elevada.

Figura 31: Boxplot para todos os ensaios de infiltração: A) Ensaios de infiltração no Neossolo Regolítico; e, B) Ensaios de infiltração no Luvisolo Crômico. Chaves: “x” média; “-” mediana; “□” probabilidade de 25% para 75%; “└” extremo máximo; “┌” extremo mínimo; “•” outliers.



A Velocidade de Infiltração Básica (VIB) é mais elevada e constante no Neossolo Regolítico do que no Luvissole Crômico, logo porque, a natureza da textura, estrutura, consistência e porosidade do Luvissole Crômico, sofre mais alterações ao longo do ano que o Neossolo Regolítico, por isso ocorre uma maior variação nos seus resultados (Tabela 11; Figura 31 – A e B).

A umidade antecedente é ainda mais importante para esse solo (Luvissole Crômico), em relação a dinâmica de infiltração da água e conseqüentemente aos processos erosivos, pois a medida que o teor de umidade aumenta no solo, a resistência ao cisalhamento diminui (GUERRA, 2007; HUANG; SHAO, 2019; MORGAN, 2005), mas por outro lado, essa umidade pode atuar em solos franco-arenosos aumentando sua resistência ao cisalhamento (HARTMANN; BOODT, 1974).

Continuando com as análises dos dados de infiltração (Tabela 11; Figura 31 – A e B), nota-se que o Luvissole Crômico em alguns casos consegue superar o Neossolo Regolítico, em termos de VII (janeiro e junho 720 mm/h^{-1} e julho - 1080 mm/h^{-1}) e VIB (apenas em janeiro – 228 mm/h^{-1}), mesmo que o Neossolo Regolítico por ser mais arenoso, teoricamente deveria comportar os índices mais elevados tanto de velocidade como de quantidade de infiltração.

Este resultado pode ser explicado pela alta atividade das argilas 2:1 existentes no Luvissole Crômico, que quando úmidas expandem-se e à medida que vão perdendo umidade retraem-se, e com isso tende a criar fendas no interior do solo, possibilitando assim maiores taxas (velocidade e quantidade) de infiltração (HOLANDA et al., 2017).

As diferenças e variações encontradas para a VII e VIB são bastante expressivas para ambos os solos (Tabela 11; Figura 31 – A e B), tal fato reforça a ideia e a necessidade de se mensurar as taxas de infiltração da água em diferente períodos e condições, para uma melhor compreensão da dinâmica erosiva, pois para Heatwhite et al. (1990) *apud* Guerra (2007), o processo de infiltração não é algo constante durante o ano, podendo essa variação ser ainda maior, dependendo das características do solo, afetando diretamente sua densidade e sua disponibilidade de poros, principalmente para ambientes semiáridos (AUSTIN; PLAYÁN; GIMENO, 1998; HUANG; SHAO, 2019; ROSSI et al., 2018).

Portanto, entender como as variáveis (como: litologia, relevo, cobertura vegetal e clima) podem interferir no processo de infiltração, associados com o conhecimento das características intrínsecas de cada classe de solo é fundamental não só para os estudos dos processos erosivos, mas também se faz necessário para o planejamento adequado e manejo consciente dos solos, sendo a conservação da água do solo e redução e/ou controle do escoamento, essenciais para melhorar a produtividade agrícola e a sustentabilidade ambiental (AUSTIN; PLAYÁN;

GIMENO, 1998; BOMBINO et al., 2019; HARUNA et al., 2018; HOLANDA et al., 2017; HUANG; SHAO, 2019; MOHAMMADSHIRAZI et al., 2016; ROSSI et al., 2018).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos durante todo o período desse estudo (março de 2019 a dezembro de 2020), em quatro parcelas posicionadas sobre duas classes de solo distintas (Neossolo Regolítico e Luvissoilo Crômico), com diferentes tipos de uso e manejo (cultura da palma e sistema de pousio) e os ensaios de infiltração (durante o período de 2020), permitiram as seguintes conclusões:

- A descrição morfológica dos solos da EEMPAS, permitiu identificar duas classes de solo, onde o primeiro foi o NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico leptico (parcelas PNRPal e PNRPou) e o segundo foi o LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (parcelas PLCPal e PLCPou), sendo solos típicos e representativos da região semiárida brasileira, e em especial do Cariri paraibano;
- Os dois solos em geral apresentam as seguintes características em comum: íntima relação com o material parental (material de origem); incipientes (solos jovens); rasos (variando de 75 cm a 80 cm); são eutróficos (detêm uma elevada fertilidade natural, acima de 88%); baixo grau de pedalidade; e, baixos teores de C e N;
- O Neossolo Regolítico apresenta cor brunada, textura de franco-arenosa a areia franca, estruturação pouca e fraca, densidade de solo de $1,58 \text{ g/cm}^3$ e de partículas de $2,71 \text{ g/cm}^3$, porosidade total de 41,93%, entre outras características que evidenciam seu menor grau de desenvolvimento (menor estabilidade dos agregados) quando comparado ao Luvissoilo Crômico;
- O Luvissoilo Crômico por sua vez, comporta propriedades como, cor cromada, textura de franco-argilo-arenosa a argilosa, estruturação muita e forte, densidade do solo de $1,65 \text{ g/cm}^3$ e de partículas de $2,73 \text{ g/cm}^3$ e porosidade total de 39,73%, essas características conferem a esse solo maior grau de desenvolvimento (maior estabilidade dos agregados) quando comparado ao Neossolo Regolítico;
- As maiores taxas de escoamento foram obtidas nas parcelas sobre o Luvissoilo Crômico (PLCPal e PLCPou);
- Os maiores valores de erosão foram encontrados nas parcelas posicionadas no Neossolo Regolítico (PNRPal e PNRPou);
- As parcelas em sistema de pousio (PNRPou e PLCPou) são mais eficientes no controle dos processos hidro-erosivos do que as parcelas com a cultura da palma (PNRPal e PLCPal);

- A parcela PNRPou gerou menos escoamento e erosão quando comparada com todas as outras parcelas (PNRPal, PLCPal e PLCPou);
- De todas as parcelas hidro-erosivas, a PNRPal foi a que contou com os maiores valores de escoamento e erosão;
- Os dias com chuvas consecutivas potencializaram a ocorrência de escoamento e erosão, devido a umidade antecedente, diferentemente dos dias com chuvas isoladas;
- Em todo o período do estudo (março de 2019 a dezembro de 2020), o escoamento de todas as parcelas, mostrou boa correlação estatística com a precipitação, principalmente nos dias com chuvas consecutivas, excetuando apenas a parcela PNRPou, que por conta do desenvolvimento da vegetação herbácea (sistema de pousio), possibilitou a proteção do solo contra o impacto direto da chuva, reduzindo o escoamento e favorecendo a infiltração;
- A intensidade máxima da precipitação (mm/h) mostrou melhor correlação estatística com as taxas de escoamento, do que a intensidade média da precipitação (mm/h), nas parcelas PNRPal, PLCPal e PLCPou, para o período de 2020;
- A erosão mensurada em todas as parcelas no período de 2019, apresenta boa correlação estatística com a precipitação (entre 76% e 83%), e principalmente com o escoamento (variando de 99% a 100%);
- No período de 2020, as taxas erosivas de todas as parcelas relataram melhor correlação com o escoamento (ficando entre 48% e 100%), do que com a precipitação (entre 24% e 68%);
- A erosão de todo o período do estudo (março de 2019 a dezembro de 2020), relata que todas as parcelas tiveram melhor afinidade com o escoamento (entre 34% e 100%) do que com a precipitação (entre 1% e 65%);
- As taxas erosivas medidas nas parcelas durante os dias com chuvas consecutivas, também apresentaram melhor correlação com o escoamento do que com a precipitação, principalmente quando se trata das parcelas em pousio (PNRPou e PLCPou), ou seja, a instalação e proliferação da vegetação herbácea no sistema de pousio proporcionou uma cobertura mais eficiente contra o impacto direto das chuvas do que a cultura da palma, influenciando diretamente na dinâmica hidro erosiva, pois além de reduzir as taxas de escoamento e erosão, possibilitou uma maior infiltração;
- Para eventos chuvosos isolados, as taxas erosivas mostram certa homogeneidade nas correlações estatísticas para todas as parcelas, o expõe forte correlação com o

escoamento (ficando entre 99% e 100%), e fraca correlação com a precipitação (ficando entre 23% e 27%), isto significa que os eventos chuvosos isolados, além de serem de menor magnitude, também ocorrem após (normalmente semanas) as chuvas de maior magnitude, influenciando diretamente no desenvolvimento da cultura da palma e da vegetação herbácea do pousio, pois ambas favorecem maior proteção ao solo durante esse período do ano do que no início do período chuvoso;

- Quando se correlaciona as taxas erosivas mensuradas nas parcelas PNRPal, PLCPal e PLCPou, observa-se uma melhor relação com a intensidade máxima da chuva (mm/h), variando de 41% e 81%, do que com a intensidade média da chuva (mm/h), ficando entre 18% e 42%;
- Na análise dos sedimentos coletados para todas as parcelas, verificou-se semelhança nos resultados obtidos para os processos de escoamento e erosão, visto que as parcelas com a cultura da palma (PNRPal e PLCPal) perderam cerca de 5,6 vezes de Carbono (C) e 7,8 vezes de Nitrogênio (N), a mais do que as parcelas em sistema de pousio (PNRPou e PLCPou);
- A parcela PNRPal sozinha perdeu 139% mais C e N do que todas as outras parcelas juntas (PNRPou, PLCPal e PLCPou);
- As taxas de C e N obtidas na parcela PNRPou, representam apenas 1% de toda quantidade de C e N mensuradas em todas as parcelas hidro-erosivas juntas (PNRPal, PLCPal e PLCPou);
- Segundo a classe textural dos sedimentos, fica evidente a forte correlação com o material de origem (classe de solo), pois a parcela PNRPal apresenta uma granulometria com cerca de 73,1% de areia grossa e fina (classe textural franco-arenosa), já a granulometria das parcelas PLCPal e PLCPou, contaram com mais de 92% de silte e argila (classe textural de argilosa a muito argilosa);
- A parcela PNRPou foi tão eficiente no controle dos processos hidro-erosivos que não gerou material (sedimentos) suficiente para ser feita a análise de sua classe textural;
- Os elevados teores de nutrientes como C e N e de partículas (granulometria) principalmente de argila, nos sedimentos das parcelas com a cultura da palma (PNRPal e PLCPal), revelam a necessidade de se repensar as práticas de manejo desenvolvidas na região (Cariri paraibano), pois a medida que se perde mais C, N e argila, do que se repõe, ocorre o desequilíbrio nos sistemas naturais, influenciando diretamente na resiliência do ambiente, podendo nos piores cenários possíveis levar a desertificação;

- Entre todas as variáveis estudadas, infere-se que as classes de solos (Neossolo Regolítico e Luvisolo Crômico) associadas com os diferentes tipos de uso e manejo (cultura da palma e sistema de pousio), foram as mais importantes na variabilidade dos resultados encontrados para a geração do escoamento, erosão e na seletividade dos sedimentos (nutrientes e classe textural);
- Em relação aos ensaios de infiltração realizados em todo o período de 2020, infere-se que a velocidade da infiltração é maior durante os meses mais secos (com baixa umidade nos solos) do que nos meses do período chuvoso (alta umidade nos solos), evidenciando a importância da umidade antecedente nesse processo;
- O Neossolo Regolítico apresenta maior constância na velocidade de infiltração básica (VIB) do que o Luvisolo Crômico, logo porque a estrutura do Neossolo Regolítico sofre menos alterações ao longo do ano, quando comparada a estrutura do Luvisolo Crômico que é composta de argilas de alta atividade do tipo 2:1 (expandem-se quando úmidas e retraem-se quando secas);
- A natureza das argilas do tipo 2:1 do Luvisolo Crômico, permitem que ele possa (durante períodos específicos) superar em termos de VIB e quantidade de água infiltrada o Neossolo Regolítico, isto só é possível pela peculiaridade das argilas do tipo 2:1, que quando úmidas se expandem e dificultam o processo de infiltração, já quando secas se retraem aumentando os espaços porosos do solo, formando fendas/rachaduras que favorecem a elevação tanto da quantidade e principalmente da velocidade de infiltração da água.

Segundos os dados do monitoramento das parcelas hidro-erosivas (escoamento, erosão e seletividade dos sedimentos), entende-se que o Neossolo Regolítico é mais vulnerável as intervenções antropogênicas do que o Luvisolo Crômico, logo, o Luvisolo Crômico por ser mais desenvolvido em termos pedogenéticos do que o Neossolo Regolítico, é mais resistente a dinâmica hidro-erosiva.

De modo geral, os valores encontrados aqui tanto de escoamento como de erosão, mesmo sendo bem significativos, não superam os valores de outros estudos realizados na região do Cariri paraibano (por exemplo: ALBUQUERQUER; LOMBARDI NETO; SRINIVASAN, 2001; SANTOS; SANTOS; SILVA, 2007; XAVIER et al., 2016), evidenciando o fato de que existe uma elevada irregularidade na distribuição desses fenômenos por toda região semiárida brasileira.

Quando se refere os resultados de ensaios de infiltração, deduz-se que o Luvisolo Crômico é mais sensível a umidade antecedente do que o Neossolo Regolítico, pois mesmo com os menores valores de VIB, a natureza argilosa do Luvisolo Crômico permite armazenar água por mais tempo em seu interior, interferindo diretamente na dinâmica da velocidade e quantidade de água infiltrada.

Os procedimentos metodológicos baseados na descrição e classificação de cada classe de solo (em campo e em laboratório), associados com a utilização das parcelas hidro-erosivas ou experimentais (para mensuração do escoamento superficial e erosão), com as análises qualitativas dos sedimentos erodidos (quantidade de C e N, juntamente com a classe textural - granulometria) e com a realização de ensaios de infiltração em diferentes períodos do ano, foram fundamentais para a compreensão aprofundada da dinâmica hidro-erosiva em escala local, encontrada na zona rural do município de Gurjão, no Cariri, região semiárida da Paraíba.

Com isso, sugere-se que os estudos da dinâmica hidro-erosiva, por meio da mensuração dos fenômenos de escoamento superficial e erosão, sejam ampliados tanto em termos de locais como de tempo de monitoramento para possibilitar interpretações mais precisas e abrangentes, como também de fornecer dados consistentes para melhorar o desempenho de modelos hidrológicos na previsão do escoamento e transporte de sedimentos para condições variadas de cobertura do solo. Tais observações experimentais são necessárias, não apenas para calibração/validação dos modelos, mas principalmente para melhor parametrização.

Portanto, as análises aqui realizadas são essenciais não só para o avanço dos estudos hidro-erosivos em ambiente semiárido, como também podem servir para subsidiar a elaboração de políticas públicas que visem o ordenamento e a gestão dos espaços rurais. O desenvolvimento de propostas de manejo conforme cada especificidade e limitação existente nas áreas agricultáveis (clima-relevo-solo-vegetação), baseadas em uma utilização consciente e sustentável dos recursos naturais, parece ser uma possibilidade viável para reduzir os efeitos das interferências antropogênicas na resiliência do ambiente e da população local.

REFERÊNCIAS

- ADIMASSU, Z.; TAMENE, L.; DEGIEFE, D. T. The influence of grazing and cultivation on runoff, soil erosion, and soil nutrient export in the central highlands of Ethiopia. **Ecological Processes**, v. 9, n. 23, 2020, p. 11.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. Efeitos do desmatamento da Caatinga sobre as perdas de solo e água de um luvisolo em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25. 2001, p. 121-128.
- ALCÂNTARA, R. M. C. M.; REIS, V. M. **Metabolismo do Carbono nos nódulos**. Seropédica-RJ, EMBRAPA Agrobiologia, 2008, 27 p.
- ALMEIDA, N. V. **Ordenamento territorial geoambiental da bacia Hidrográfica do rio Taperoá/semiárido paraibano**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, 2012.
- ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; PINTO, A. S.; PAREYN, F. G. C.; CARVALHO, A. L.; MARTINS, J. C. R.; CARVALHO, E. X.; SILVA, A. S. A.; DUTRA, E. D.; SAMPAIO, E. V. S. B. Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 254, 2018, p. 26-34.
- AMENN, A.; HUA, L.; XIE, G. H. Dynamics of Soil Moisture, pH, Organic Carbon, and Nitrogen Under Switchgrass Cropping in a Semiarid Sandy Wasteland. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 7, 2019, p. 922-933.
- ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. C.; OLIVEIRA, P. T. S.; FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: A meta-analysis of the Brazilian experience. **Catena**, v. 152, 2017, p. 29-39.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; RIBEIRO, M. R.; BURGOS, N.; MARQUES, F. A. V - Solos da Caatinga. In: **Pedologia - solos dos biomas brasileiros**. (Orgs.) CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. S. 1ª Ed. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017, p. 227-260.
- ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LIRA, E. C.; FÉLIX, E. S.; SOUZA, J. T. A; LIMA, W. B. **Palma forrageira: plantio e manejo**. Campina Grande: INSA, 2019, 60 p.
- AUSTIN, R.B.; PLAYÁN, E.; GIMENO, J. Water storage in soils during the fallow: prediction of the effects of rainfall pattern and soil conditions in the Ebro valley of Spain. **Agricultural Water Management**, v. 36, 1998, p. 213-231.
- BACCARO, C. A. D. Processos Erosivos no Domínio do Cerrado. In: **Erosão e Conservação do Solo: Conceitos, temas e aplicações**. (Orgs.) GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. 3ª Ed. Rio de Janeiro, Editora: Bertrand Brasil, 2007, p. 195-227.
- BAKKER, M. M.; GOVERS, G.; KOSMAS, C.; VANACKER, V.; VAN OOST, K.; ROUNSEVELL, M. Soil erosion as a driver of land-use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 105, n. 3, 2005, p. 467-481.

BASHARI, M.; MORADI, H. R.; KHEIRKHAH, M. M.; JAFARI-KHALEDI, M. Temporal variations of runoff and sediment in different soil clay contents using simulated conditions. **Soil and Water Research**, v. 8, 2013, p. 124–132.

BENMANSOUR, M.; NOUIRA, A.; BENKIDAD, A.; IBN MAJAH, M.; BOUKSIRAT, H.; EL OUMRI, M.; MOSSADEK, R.; DUCHEMIN, M. Estimates of long and short term soil erosion rates on farmland in semi-arid West Morocco using caesium-137, excess lead-210 and beryllium-7 measurements. In: **Impact of Soil Conservation Measures on Erosion Control and Soil Quality**. IAEA – International Atomic Energy Agency. Vienna, 2011, p. 159-174.

BERNOUX, M.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; ESCHENBRENNER, V.; CERRI, C. E. P. Soil Carbon Sequestration. In: **Soil erosion and carbon dynamics**. Edited by ROOSE, E.; LAL, R.; FELLER, C.; BARTHÈS, B.; STEWART, B. A. Advances in soil Science: Taylor & Francis Group, 2006, p. 13-22.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 5ª Ed. São Paulo; Ícone, 2005. 355 p.

BLAIKIE, P. **The political economy of soil erosion in developing countries**. Longman Group Limited, Nova York, 1985, 188 p.

BOMBINO, G.; DENISI, P.; GÓMEZ J. A.; ZEMA, D. A. Water Infiltration and Surface Runoff in Steep Clayey Soils of Olive Groves under Different Management Practices. **Water**, v. 11, n. 2, 2019, p. 13.

BORRELI, P.; ROBINSON, D. A.; FLEISCHER, L. R.; LUGATO, E.; BALLABIO, C.; ALEWELL, C.; MEUSBURGER, K.; MODUGNO, S.; SCHÜTT, B.; FERRO, V.; BAGARELLO, V.; OOST, K. V.; MONTANARELLA, L.; PANAGOS, P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. **Nature Communications**, v. 8, 2017, p. 13.

BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; PANAGOS, P.; LUGATO, E.; YANG, J. E.; ALEWELL, C.; WUEPPER, D.; MONTANARELLA, L.; BALLABIO, C. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 36, 2020, p. 21994–22001.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução técnica; Igo Fernando Lepsch. 3ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686 p.

BRASIL, J. B.; PALÁCIO, H. A. D. Q.; ARAÚJO NETO, J. R. D.; RIBEIRO FILHO, J. C.; ANDRADE, E. M. D. Características das chuvas e interceptação vegetal no Bioma Caatinga. **Irriga**, v. 22, 2017, p. 560–574.

BRASIL. **Levantamento Exploratório/Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: SUDENE, 1972, 683 p., e anexos.

BRASIL. Portal do Governo Brasileiro, Ministério do Desenvolvimento Regional. **Semiárido Brasileiro**, publicado em 13 de março de 2019. <http://www.mdr.gov.br/irrigacao/semi-arido-brasileiro>: Acessado em 27 de maio de 2020.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, 2005, p. 3-22.

BRYAN, R. B. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. **Geomorphology**, v. 32, 2000, p. 385-415.

CALOIERO, T.; BIONDO, C.; CALLEGARI, G.; COLLALTI, A.; FROIO, R.; MAESANO, M.; MATTEUCCI, G.; PELLICONE, G.; VELTRI, A. Results of a long-term study on an experimental watershed in southern Italy. **Forum Geografic**, v.15, 2016, p. 55-65.

CARMI, G.; and, BERLINER, P. The effect of soil crust on the generation of runoff on small plots in an arid environment. **Catena**, v. 74, n. 1, 2008, p. 37-42.

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

CHARTIER, M. P.; ROSTAGNO, C; M.; VIDELA, L. S. Selective erosion of clay, organic carbon and total nitrogen in grazed semiarid rangelands of northeastern Patagonia, Argentina. **Journal of Arid Environments**, v. 88, 2013, p. 43-49.

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: **Geomorfologia - Uma Atualização de Bases e Conceitos**. (Orgs.) GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994, p. 93-148.

CONFORTI, M.; BUTTAFUOCO, G.; LEONE, A. P; AUCELLI, P. P. C.; ROBUSTELLI, G.; SCARCIGLIA, F. Studying the relationship between water-induced soil erosion and soil organic matter using Vis–NIR spectroscopy and geomorphological analysis: A case study in

CONKLIN JR, A. R. **Introduction to soil chemistry: analysis and instrumentation**. 2th Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2014, 347 p.

CORRÊA, A. C. B.; SOUZA, J. O. P.; CAVALCANTI, L. C. S. Solos do ambiente semiárido: Erosão e degradação a partir de uma visão geomorfológica. In: **Degradação dos Solos no Brasil**. (Orgs.) GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. 1^a Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, p. 127-166.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. **Megageomorfologia e morfoestrutura do planalto da Borborema**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 31 (1/2), 2010, p. 35-52.

COTLER, H.; ORTEGA-LARROCEA, M. P. Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. **Catena**, v. 65, 2006, p. 107-117.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimentos por água subterrânea. Diagnóstico do município de Gurjão, Estado da Paraíba**. (Org.) MASCARENHAS, J. C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA

JUNIOR, L. C.; MORAIS, F.; MENDES, V. A.; e, MIRANDA, J. L. F. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005, 10 p., e anexos.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil. **Carta Geológica – Folha: SB.24-Z-D-III BOQUEIRÃO. Escala: 1:100.000**, 2002.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil. **Carta Geológica-Geofísica – Folha: SB.24-Z-D-II JUAZEIRINHO. Escala: 1:100.000**, 2018.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, M. S. L.; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação** (Orgs.) SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010, v. 2, p. 50-87.

CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B.B.; SILVA, M. S. L.; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B.; CAVALCANTI, A. C. **Solos do Submédio do Vale do São Francisco: Potencialidades e Limitações para Uso Agrícola**. Petrolina-PE, Embrapa Semiárido, 2008, 60 p.

DCA – Departamento de Ciências Atmosféricas. **Precipitação Mensal do Estado da Paraíba: 1911/1990**. Universidade Federal de Campina Grande - <http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/chuvapb.htm>: Acessado em novembro de 2020.

DEXTER, A. R. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, 2004a, p. 201-214.

DEXTER, A. R. Soil physical quality Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, v. 120, 2004b, p. 227-239.

DOTTERWEICH, M. The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation - A global synopsis. **Geomorphology**, v. 201, n. 1, 2013, p. 1-34.

DUO, Y.; YANG, Y.; AN, S.; ZHU, Z. Effects of different vegetation restoration measures on soil aggregate stability and erodibility on the Loess Plateau, China. **Catena**, v. 185, 2020, p. 9.

ELWELL, W. D.; STOCKING, M. A. Rainfall parameters for soil loss estimation in a subtropical climate. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 18, 1973, p. 169-177.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª Ed. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento, Brasília-DF, 2017, 574 p.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

EMBRAPA. **O novo mapa de solos do Brasil: Legenda atualizada**. Rio de Janeiro – Embrapa Solos, 2011, 67 p.

EMBRAPA. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro – Embrapa Solos, 2002, 174 p.

ENVIRONMENT AGENCY, 2002. **Agriculture and natural resources: benefits, costs and potential solutions**. Environment Agency, Bristol, 2002.

FAO and ITPS. **Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report**. Rome, 2015, 607 p.

FAO. **Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management**. Rome, 2019a, 100 p.

FAO. **Trees, forests and land use in drylands: the first global assessment - Full report**. FAO Forestry Paper N. 184. Rome, 2019b, 193 p.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In: **Física do Solo**. (Org.) LIER, Q. J. V. Viçosa, Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, p. 1-27.

FONSECA, A. C. Geoquímica dos Solos: In: **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 3ª Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2007, p. 165-194.

FRANKLIN, O.; CAMBUI, C. A.; GRUFFMAN, L.; PALMROTH, S.; OREN, R.; NÄSHOLM, T. The carbon bonus of organic nitrogen enhances nitrogen use efficiency of plants. Wiley One Library, **Plant, Cell and Environment**. v. 40, n. 1, 2016, p. 25-35.

FREITAS, R. C. A. **Argila dispersa em água determinada por agitação rápida, lenta e ultrassom**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011, 59 p.

GALDINO, I. C. L.; RIBEIRO, M. R.; SANTOS, M. F. A. V.; LIMA, J. W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Relações Solo-Vegetação em Áreas sob Processo de Desertificação no Município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 2008, p. 1283-1296.

GÄRDENÄS, A. I.; ÅGREN, G. I.; BIRD, J. A.; CLARHOLM, M.; HALLIN, S.; INESON, P.; KÄTTERER, T.; KNICKER, H.; NILSSON, S. I.; NÄSHOLM, T.; OGLE, S.; PAUSTIAN, K.; PERSSON, T.; STENDAHL, J. Knowledge gaps in soil carbon and nitrogen interactions - from molecular to global scale. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 4, 2011, p. 702-717.

GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. S. M.; GAVA, C. A. T. Carbono no Sistema Solo-Planta no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, 2011, p. 1233-1253.

GOMES, A. R. **Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo em Região semiárida utilizando sensoriamento Remoto e geoprocessamento – área piloto de Parnamirim (PE)**. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, 2000, 160 p.

GOMES, M. F. A. Projeto para conservação de solo dependem de conscientização para serem valorizados. **Gazeta Regional**, Jaguariúna, 21 de abril 2007.

GOUDIE, A. S. The global geomorphological future. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Supplementbände v. 79, 1990, p. 51-62.

GROHMAMM, F. Estrutura. In: **Elementos de pedologia**. (Org.) MONIZ, A. C. São Paulo: Polígono, Ed: Universidade de São Paulo, 1972a. p. 101-110.

GROHMAMM, F. Porosidade. In: **Elementos de pedologia**. (Org.) MONIZ, A. C. São Paulo: Polígono, Ed: Universidade de São Paulo, 1972b. p. 77-84.

GUERRA, A. J. T. **A Erosão dos Solos no Contexto Social**. Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ, Rio de Janeiro, v. 17, 1994a, p. 14-23.

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

GUERRA, A. J. T. O Início do Processo Erosivo. In: **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. (Orgs.) GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, p. 17-54.

GUERRA, A. J. T. **O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos**. Anuário do Instituto de Geociências, Vol. 13, 1990, p. 43 – 52.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: **Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicações**. (Orgs.) GUERRA, A. J. T.; CUNHA, J. K. S. 5ª Ed. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 2011. p. 139-156.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. (Orgs) GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994b, p. 149-209.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**: v. 19, 1996, p. 93-114.

GUERRA, A. J. T.; MENDES, S. P.; LIMA, F. S.; SATHLER, R.; GUERRA T. T.; MENDONÇA, J. K. S.; BEZERRA, J. F. R. Erosão urbana e recuperação de áreas degradadas no Município de São Luís - Maranhão. **Revista de Geografia**, v. 26, 2009, p. 85-135.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. (Orgs.) VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, p. 225-256.

GYSSSELS, G.; POESEN, J.; BOCHET, E.; LI, Y. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 29, n. 2, 2005, p. 189-217.

HARTMANN, R.; BOODT, M. The influence the moisture content, texture and organic matter on the aggregation of sandy and loamy soils. **Geoderma**, v. 11, 1974, p. 53-62.

HARUNA, S. I.; NKONGOLO, N. V.; ANDERSON, S. H.; EIVAZI, F.; ZAIBON, S. In situ infiltration as influenced by cover crop and tillage management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 73, n. 2, 2018, p. 164-172.

HILLEL, D. **Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil**. New York: The Free Press, 1991, 321 p.

HOLANDA, F. S. R.; ARAÚJO FILHO, R. N.; PEDROTTI, A.; SANTOS, T. O.; SANTOS, H. V. S. Infiltration of water and salinity in luvisolo of the brazilian semiarid cultivated with different management systems. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 92, n.3, 2017, p. 234-247.

HUANG, L.; SHAO, M. Advances and perspectives on soil water research in China's Loess Plateau. **Earth-Science Reviews**, v. 199, 2019, p. 64.

HUDSON, B. D. Soil organic matter and available water capacity. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 49, n. 2, 1994, p. 189-194.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Mapas: Bases e Referências**, 2010 e 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo populacional**, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa populacional**, 2019. Acessado em 01 de maio de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª Ed. Manuais Técnicos em Geociências, n. 5, Rio de Janeiro, 2009, 182 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. 3ª Ed. Manuais Técnicos em Geociências, nº.4, Rio de Janeiro, 2015, 430 p.

INSA. Instituto Nacional do Semiárido. **Relatório da Oficina de Estratégias de Segurança Forrageira no Semiárido em 28 e 29 de abril de 2016 – INSA**. Campina Grande: INSA, 2016, 34 p.

IPBES. The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. **Assessment Report on Land Degradation and Restoration**. Eds. MONTANARELLA, L., R. SCHOLES., AND A. BRAINICH. Secretariate of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 2018, 686 p.

JAKŠÍK, O.; KODEŠOVÁ, R.; KUBIŠ, A.; STEHLŠKOVÁ, I.; DRÁBEK, O.; KAPIČKA, A. Soil aggregate stability within morphologically diverse areas. **Catena**, v. 127, 2015, p. 287-299.

JORGE, J. A. Matéria Orgânica. In: **Elementos de Pedologia**. (Org.) MONIZ, A. C. São Paulo: Polígono, Ed: Universidade de São Paulo, 1972, p. 169-177.

KERR, J. The economics of soil degradation: from national policy to farmer's field. In: Penning de Vries, F., F., Agus and J. Kerr (eds.) **soil erosion at multiple scales: principles and methods for assessing causes and impacts**. Bangkok: IBSRAM, 1998.

KIANI-HARCHEGANI, M.; SADEGHI, S.H.; ASADI, H. Comparing grain size distribution of sediment and original soil under raindrop detachment and raindrop-induced and flow transport mechanism. **Hydrological Sciences Journal**, v. 63, 2017, p. 312–323.

KIRUI, O. K. **Economics of Land Degradation, Sustainable Land Management and Poverty in Eastern Africa – The Extent, Drivers, Costs and Impacts**. PhD Thesis, University of Bonn, Bonn, Germany, 2016, 165 p.

KNICKER, H. Soil organic N - an under-rated player for C sequestration in soils? **Soil Biology Biochemistry**, v. 43, 2011, n. 6, p. 1118-1129.

LAL, R. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. Wiley One Library, **Global Change Biology**, v. 24. n. 8, 2018, p. 3285-3301.

LAL, R. Influence of Soil Erosion on Carbon Dynamics in the World. In: **Soil erosion and carbon dynamics**. Edited by ROOSE, E.; LAL, R.; FELLER, C.; BARTHÈS, B.; STEWART, B. A. Advances in soil Science: Taylor & Francis Group, 2006, p. 23-36.

LAL, R. **Soil erosion in the tropics: Principles and Management**. New York: McGraw-Hill, 1990.

LANGHROUR, M.; MOUSSADECK, R.; MRABET, R.; DAHAN, R. EL-MOURID, M.; ZOUAHRI, A.; MEKKAOUI, M. **Long and Midterm Effect of Conservation Agriculture on Soil Properties in Dry Areas of Morocco**. Hindawi Publishing Corporation, Applied and Environmental Soil Science, 2016, p. 9.

LEITE P. A. M.; SOUZA, E. S.; SANTOS, E. S.; GOMES R. J.; CANTALICE, J. R.; WILCOX, B. P. The influence of forest regrowth on soil hydraulic properties and erosion in a semiarid region of Brazil. **Ecohydrology**, v. 11, 2018, p. 12.

LEPRUN, J. C. **A Erosão, a Conservação e o Manejo do Solo no Nordeste Brasileiro: Balanço, Diagnóstico e Novas Linhas de Pesquisa**. Recife, SUDENE-DRN, 1981, p. 105.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010, p. 216.

LIMA, E. R. V. **Erosão do Solo: Fatores Condicionantes e Modelagem Matemática**. Revista Cadernos do Logepa – Série Pesquisa Ano 1, Número 1 - Jan/Jun de 2003, p. 46.

LIMA, J. M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação direta da erodibilidade de Latossolos, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, 1990, p. 85-90.

LIMA, L. D. da M. **Suscetibilidade à Erosão dos Solos nas Sub-bacias do médio e alto cursos da Bacia do Rio Macaé / RJ**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geografia. UFRJ, Rio de Janeiro, 2008, 127 p.

LIMA, M. R. **Conhecendo os solos: abordagem para educadores do ensino fundamental na modalidade à distância**. Curitiba-PR: Universidade Federal do Paraná - Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2014, 167 p.

LIU, M.; URISSI, D. A. N.; LAL, R. Soil Organic Carbon and Nitrogen Fractions under Different Land Uses and Tillage Practices. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 12, 2016, p. 1528-1541.

LOPES, I.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. L. M. P. Performance of Conservation Techniques for Semiarid Environments: Field Observations with Caatinga, Mulch, and Cactus Forage Palma. **Water**, v. 11, n. 4, 2019, p. 15.

LUETZELBURG, P. V. **Estudo botânico do Nordeste**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas/IFOCS, v. 2, 1922, p. 226.

LUO, W.; LI, M.; SARDANS, J.; LÜO, X.; WANG, C.; PEÑUELAS, J.; WANG, Z.; HAN, X.; JIANG, Y. Carbon and nitrogen allocation shifts in plants and soils along aridity and fertility gradients in grasslands of China. Wiley One Library, **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 17, 2017, p. 6927-6934.

MAFRA, A. L.; SILVA, E. F.; COOPER, M.; DEMATTÊ, J. L. I. Pedogênese de uma sequência de solos desenvolvidos de arenito na região de Piracicaba (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, 2001, p. 355-369.

MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, temas e aplicações**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 2007, p. 301-322.

MAGRI, R. A. F. **Análise da susceptibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Geotecnia – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2013, 230 p.

MARTÍNEZ-MENA, M.; ALVAREZ ROGE, J.; CASTILLO, V.; ALBALADEJO, J. Organic carbon and nitrogen losses influenced by vegetation removal in a semiarid mediterranean soil. **Biogeochemistry**, v. 61, 2002, p. 309-321.

MARTÍNEZ-MENA, M.; CARRILLO-LÓPEZA, E.; BOIX-FAYOS, C.; ALMAGRO, M.; GRACÍA FRANCO, N.; DÍAZ-PEREIRA, E.; MONTOYA, I.; VENTEA, J. Long-term effectiveness of sustainable land management practices to control runoff, soil erosion, and nutrient loss and the role of rainfall intensity in Mediterranean rainfed agroecosystems. **Catena**, v. 187, Stoten: 104352, 2020, p. 13.

MCLAUGHLIN, D. L.; KAPLAN, D. A.; COHEN, M. J. Managing Forests for Increased Regional Water Yield in the Southeastern U.S. Coastal Plain. **Journal America Water Resources Association**, v. 49, n. 4, 2013, p. 953-965.

MEDINA, H. P. Constituição Física. In: **Elementos de Pedologia**. (Org.) MONIZ, A. C. São Paulo: Polígono, Ed: Universidade de São Paulo, 1972, p. 11-28.

MENDES, S. P. **Diagnóstico Geotécnico e Sócio-Ambiental da Voçoroca do Bacanga, São Luís – MA**. Monografia para obtenção do bacharelado em Geografia – UFRJ: Rio de Janeiro, 2007, 58 p.

MERINO-MARTÍN, L.; STOKES, A.; GWEON, H. S.; MORAGUES-SAITUA, L.; STAUNTON, S.; PLASSARD, C.; OLIVER, A.; BISSONNAIS, Y. L.; GRIFFITHS, R. I. Interacting effects of land use type, soil microbes and plant traits on aggregate stability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 154, 2021. p. 68.

MERTEN, G. H.; CASSOL, E. A.; MINELLA, J. P. G., Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG, v.16 n. 4, 2012. p. 337-346.

MIRZABAEV, A.; WU, J.; EVANS, J.; GARCÍA-OLIVA, F.; HUSSEIN, I. A. G.; IQBAL, M. H.; KIMUTAI, J.; KNOWLES, T.; MEZA, F.; NEDJRAOUI, D.; TENA, F.; TÜRKEŞ, M.; VÁZQUEZR, J.; WELTZ, M. Chapter 3: Desertification. In: **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. (Eds.) SHUKLA, P. R.; SKEA, J.; CALVO BUENDIA, E.; MASSON-DELMOTTE, V.; PÖRTNER, H. O.; ROBERTS, D. C.; ZHAI, P.; SLADE, R.; CONNORS, S.; VAN DIEMEN, R.; FERRAT, M.; HAUGHEY, E.; LUZ, S.; NEOGI, S.; PATHAK, M.; PETZOLD, J.; PORTUGAL PEREIRA, J.; VYAS, P.; HUNTLEY, E.; KISSICK, K.; BELKACEMI, M.; MALLEY, J. IPCC, 2019, p. 249-343.

MOHAMMADSHIRAZI, F.; BROWN, V. K.; HEITMAN, J. L.; MCLAUGHLIN, R. A. Effects of tillage and compost amendment on infiltration in compacted soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 71, n. 6, 2016, p. 443-449.

MONTGOMERY, D. R. **Dirt: The Erosion of Civilizations**. Berkeley, CA: University of California Press, 2007, 296 p.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. 6ª Ed. São Paulo, Saraiva, 2015, 540 p.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. Blackwell Publishing Ltd, 3ª Ed. 2005, 304 p.

MORGAN, R. P. C.; MCINTYRE, K.; VICKERS, A. W.; QUINTON, J. N.; RICKSON, R. J. **A rainfall simulation study of soil erosion on rangeland in Swaziland**. *Soil Technology*, v. 11, 1997, p. 291-299.

MULLAN, D. Soil erosion under the impacts of future climate change: Assessing the statistical significance of future changes and the potential on-site and off-site problems. **Catena**, v. 109, 2013, p. 234-246.

MÜLLER-NEDEBOCK, D.; CHIVENGE, P.; CHAPLOT, V. Selective organic carbon losses from soils by sheet erosion and main controls. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 41, 2016, p. 1399-1408.

MUSTAFA, A.; MINGGANG, X.; SHAH, S. A. A.; ABRAR, M. M.; NAN, S.; BAOREN, W.; ZEJIANG, C.; SAEED, Q.; NAVEED, M.; MEHMOOD, K.; NÚÑEZ-DELGADO, A. Soil aggregation and soil aggregate stability regulate organic carbon and nitrogen storage in a red soil of southern China. **Journal of Environmental Management**, v. 270, 2020, p. 11.

NADAL-ROMERO E.; GARCÍA-RUIZ, J. M. Chapter 7: Rethinking Spatial and Temporal Variability of Erosion in Badlands. In: **Badland Dynamics in the Context of Global Change**. (Eds) NADAL-ROMERO, E.; MARTÍNEZ MURILLO, J. F.; KUHN, N. J. Elsevier: Amsterdam, 2018, p. 217-253.

NADAL-ROMERO E.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; CORTESI, N.; DESIR, G.; GÓMEZ, J. A.; LASANTA, T.; LUCÍA, A.; MARÍN, C.; MARTÍNEZ MURILLO, J. F.; PACHECO, E.; M. L. RODRÍGUEZ-BLANCO; ROMERO DÍAZ, A.; RUIZ SINOGA, J. D.; TAGUAS, E. V.; TABOADA-CASTRO, M. M.; TABOADA-CASTRO, M. T.; ÚBEDA X.; ZABALETA, A. Relationship of runoff, erosion and sediment yield to weather types in the Iberian Peninsula. **Geomorphology**, v. 228, 2015, p. 372-381.

NASCIMENTO, S. S.; LIMA, E. R. V.; LIMA, P. P. S. Uso do NDVI na análise temporal da degradação da caatinga na sub-bacia do Alto Paraíba. **OKARA: Geografia em debate**, v. 8, n.1, 2014, p. 72-93.

NAUTIYAL S.; BHASKAR K.; IMRAN KHAN, Y.D. **Biodiversity of Semiarid Landscape Baseline Study for Understanding the Impact of Human Development on Ecosystems**. Switzerland: Springer, 2015, 398 p.

NEVES, S. R. A. **Análise Prognóstica de Processos Erosivos na Bacia Hidrográfica do Rio Mateus Nunes (Paraty, RJ)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro - RJ, 2015, 130 p.

NIGEL, R.; RUGHOOPUTH, S. Mapping of monthly soil erosion risk of mainland Mauritius and its aggregation with delineated basins. **Geomorphology**, v. 114, 2010, p. 101-114.

OBALUM, S. E.; CHIBUIKE, G. U.; PETH, S; OUYANG, Y. **Soil organic matter as sole indicator of soil degradation**. Switzerland. Springer: Environ Monit Assess, 2017, p. 176-189.

OCHOA, P. A.; FRIES, A.; MEJÍA, D.; BURNEO, J. I.; RUÍZ-SINOGA, J. D; CERDÀ, A. Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. **Catena**, v. 140, 2016, p. 31-42.

OLIVEIRA, B. **Box Plot, como interpretar?** 2019. (<https://operdata.com.br/como-interpretar-um-boxplot/>). Acessado em 10 de janeiro de 2021.

OLIVEIRA, D. de. Técnicas de Pedologia. In: **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. (Org.) VENTURI, L. A. B. Editora Sarandi: São Paulo, 2011, p. 83-106.

OLIVEIRA, L. B.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, M. R.; KER, J. C. Morfologia e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, 2009, p. 1333-1345.

OLIVEIRA, M. A. M. **Mensuração de perdas de sedimentos por escoamento superficial em encostas, com uso de parcelas de erosão, em diferentes usos e coberturas do solo no Bioma Cerrado: Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama/DF**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2015, 78 p.

OLIVEIRA, T. S.; NEARING, M. A.; WENDLAND, E. Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 11, 2015, p. 1524-1532.

OLSON, K. R.; AL-KAISI, M.; LAL, R.; CIHACEK, L. Impact of soil erosion on soil organic carbon stocks. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 71, n. 3, 2016, p. 61A-67A.

OLSSON, L.; BARBOSA, H.; BHADWAL, S.; COWIE, A.; DELUSCA, K.; FLORES-RENTERIA, D.; HERMANS, K.; JOBBAGY, E.; KURZ, W.; LI, D.; SONWA, D. J.; STRINGER, L. Chapter 4: Land Degradation. In: **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. (Eds.) SHUKLA, P. R.; SKEA, J.; CALVO BUENDIA, E.; MASSON-DELMOTTE, V.; PÖRTNER, H. O.; ROBERTS, D. C.; ZHAI, P.; SLADE, R.; CONNORS, S.; VAN DIEMEN, R.; FERRAT, M.; HAUGHEY, E.; LUZ, S.; NEOGI, S.; PATHAK, M.; PETZOLD, J.; PORTUGAL PEREIRA, J.; VYAS, P.; HUNTLEY, E.; KISSICK, K.; BELKACEMI, M.; MALLEY, J. IPCC, 2019, p. 345-436.

PIMENTAL, D.; ALLEN, J.; BEERS, A.; GUINAND, L.; HAWKINS, A.; LINDER, R.; MCLAUGHLIN, P.; MEER, B.; MUSONDA, D.; PERDUE, D.; POISSON, S.; SALAZAR, R.; SIEBERT, S. and STONER, K. Soil erosion and agricultural productivity. In: (Ed.) PIMENTAL, D., **World soil erosion and conservation**. Cambridge University Press, Cambridge, 1993, p. 92-277.

PINESE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, L. M.; NOGUEIRA, T. C.; RODRIGUES, S. C. Monitoramento de Processos Erosivos em Parcelas Experimentais no Município de Uberlândia, MG. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 2, n. 3, 2008, p. 5-18.

PINHEIRO, J. M.; CUNHA, S. B.; CARVAJAL, S. R.; GOMES, G. C. **Estatística Básica: A arte de trabalhar com dados**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2009, p. 288.

POESEN, J. **Rainwash experiments on the erodibility of loose sediments**. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 6, 1981, p. 285-307.

POESEN, J. **Soil erosion in the Anthropocene: Research needs**. *Earth Surf. Process. Landforms*, v. 84, 2017, p. 64-84.

POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VERSTRAETEN, G.; VALENTIN, C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, v. 50, 2003, p. 91-133.

PRINCE, S.; VON MALTITZ, G.; ZHANG, F.; BYRNE, K.; DRISCOLL, C.; ESHEL, G.; KUST, G.; MARTÍNEZ-GARZA C.; METZGER, J. P.; MIDGLEY, G.; MORENO-MATEOS, D.; SGHAIER, M.; THWIN, S. Chapter 4: Status and trends of land degradation and restoration and associated changes in biodiversity and ecosystem functions. In: **IPBES: Assessment Report on Land Degradation and Restoration**. (Eds.) MONTANARELLA, L.; SCHOLLES, R.; BRAINICH, A. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 2018, p. 221–338.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2ª Ed. Atualizada e ampliada. Viçosa: Ed. UFV, 2009, 279 p.

RIETVELD, Pe. J. J. **O Verde do Juazeiro: história da paróquia de São José Juazeirinho**. João Pessoa: Imprell Gráfica e Editora, 2009, 36 p.

ROBERT, M. Global Change and Carbon Cycle: The Position of Soils and Agriculture. In: **Soil erosion and carbon dynamics**. Edited by ROOSE, E.; LAL, R.; FELLER, C.; BARTHÈS, B.; STEWART, B. A. *Advances in soil Science*: Taylor & Francis Group, 2006, p. 3-12.

ROSSI, M. J.; ARES, J. O.; JOBBÁGY, E. G.; VIVONI, E. R.; VERVOORT, R. W.; SCHREINER-MCGRAW, A. P.; SACO, P. M. Vegetation and terrain drivers of infiltration depth along a semiarid hillslope. *Science of the Total Environment*, v. 644, 2018, p. 1399-1408.

ROUTSCHEK, A.; SCHMIDT, J.; KREIENKAMP, F. Impact of climate change on soil erosion - A high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony/Germany. *Catena*, v. 121, 2014, p. 99-109.

RUEHLMANN, J. Soil particle density as affected by soil texture and soil organic matter: 1. Partitioning of SOM in conceptual fractions and derivation of a variable SOC to SOM conversion factor. *Geoderma*, v. 375, 2020, p. 8.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. (Orgs.) GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2007, p. 229-268.

SANDOR, J. A.; HOMBURG, J. A. Anthropogenic Soil Change in Ancient and Traditional Agricultural Fields in Arid to Semiarid Regions of the Americas. *Bio One: Journal of Ethnobiology*, 37 (2): 2017, p. 196-217.

SANTANA, M. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GIONGO, V.; MENEZES, R. S. C.; JESUS, K. N.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; NASCIMENTO, D. M. N.; PAREYN, F. G. C.; CUNHA, T. J. F.; SAMPAIO, R. M. B.; PRIMO, D. C. Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. *Geoderma Regional*, v. 16, 2019, e00205.

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

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; GUERREIRO, M. J. S.; MEDEIROS, P. H. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R. Effect of dry spells and soil cracking on runoff generation in a semiarid micro watershed under land use change. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 541, n. 4, 2016, p. 1057-1066.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; RIBEIRO FILHO, J. C. Erosive process control in the brazilian semiarid region. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 3, 2018, p. 695-703.

SANTOS, J. C. N.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R. Escoamento, perdas de solo e nutrientes em campos não cultivados em regiões semiáridas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, 2011, p. 813-820.

SANTOS, M. C. **Solos do Semiárido**. Cadernos do Semiárido n. 10, UFRPE, 2017, 55 p.

SCHIETTECATTE, W.; GABRIELS, D.; CORNELIS, W. M.; HOFMAN, G. 2008. Enrichment of organic carbon in sediment transport by interrill and rill erosion processes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 1, 2008, p. 50-55.

SCHJØNNING, P.; MCBRIDE, R. A.; KELLER, T.; OBOUR, P. B. Predicting soil particle density from clay and soil organic matter contents. **Geoderma**, v. 286, 2017, p. 83-87.

SEABRA, V. S.; XAVIER, R. A.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. C. Análise das mudanças de uso e cobertura da terra na bacia do rio Taperoá-PB entre os anos de 1990 e 2009. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, INPE, Brasil, 2015.

SEABRA, V. S.; XAVIER, R. A.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. C. Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo da Bacia do Rio Taperoá: Região Semiárida do Estado da Paraíba. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia. v.15, n. 50. 2014, p. 127-137.

SHI, P.; ARTER, C.; LIU, X.; KELLER M.; SCHULIN, R. Soil aggregate stability and size-selective sediment transport with surface runoff as affected by organic residue amendment. **Science of the Total Environment**, v. 607-608, 2017, p. 95-102.

SHI, P.; SCHULIN, R. Erosion-induced losses of carbon, nitrogen, phosphorus and heavy metals from agricultural soils of contrasting organic matter management. **Science of the Total Environment**, v. 618, 2018, p. 210–218.

SHRESTHA, D. P.; SURIYAPRASIT, M.; PRACHANSRI, S. Assessing soil erosion in inaccessible mountainous areas in the tropics: The use of land cover and topographic parameters in a case study in Thailand. **Catena**, v. 121, 2014, p. 40-52.

SiBCS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. SANTOS, Humberto Gonçalves dos. et al. – 5ª Ed., Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, A. S. Análise Morfológica dos Solos e Erosão. In: **Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, Temas e Aplicações**. (Orgs.) GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, G. R. M. 3ª Ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2007, p. 101-126.

SILVA, B. P. C.; SILVA, M. L. N.; BATISTA, P. V. G.; PONTES, L. M.; ARAÚJO, E. F.; CURI, N. Soil and water losses in eucalyptus plantation and natural forest and determination of the USLE factors at a pilot sub-basin in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia** v. 40, 2016, p. 432-442.

SILVA, F. B. R.; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C.; BRITO, L. T. L.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B.; SILVA, A. B.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LEITE, A. P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA, EMBRAPA/CNPS, (Documentos, 80), v. 2, 1993.

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; and, TABARELLI, M. **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Springer International Publishing AG, 2017, p. 482.

SILVA, J. V.; ALECRIM, M. A. B.; SILVA, D. O.; COSTA, D. O.; COSTA, C. C.; OLIVEIRA, R. J. Perdas de solo e água por erosão hídrica em floresta equiânea em um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, 2010, p. 579-584.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SANTOS, J. Y. G. Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil. **International Journal of Sediment Research**, v. 33, n. 2, 2017, p. 117-125.

SILVEIRA, L. L. L. **Elaboração de carta de susceptibilidade à erosão das bacias dos rios Araraquara e Cubatão – SP, escala 1:50.000**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002, 210 p.

SIRVENT, J.; DESIR, G.; GUTIÉRREZ ELORZA, M.; SANCHO, C.; BENITO, G. Erosion rates in badland areas recorded by collector, erosion pins and profilometer techniques (Ebro basin, NE-Spain). **Geomorphology**, v. 18, 1997, p. 61-75.

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015, 13 p.

SOCO. Sustainable Agriculture and Soil Conservation. **Processo de Degradação do Solo**. Ficha Informativa, Nº 2, 2009.
southern Italy. **Catena**, v. 110, 2013, p. 44-58.

SOUZA, B. I. **Cariri Paraibano: do silêncio do lugar à desertificação**. Porto Alegre: UFRGS/PPGEO, tese de doutorado, 2008, 198 p.

SOUZA, B. I.; SILANS, A. M. B. P.; SANTOS, J. B. Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2-3, 2004.

SOUZA, B. I.; SOUZA, R. S. Processo de ocupação dos Cariris Velhos – PB e efeitos na cobertura vegetal: contribuição à Biogeografia Cultural do semiárido. **Caderno de Geografia**, v. 26, número especial 2, 2016, p. 229-258.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do Cariri Paraibano. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, ano 08, n. 16, 2009, p. 217-232.

STRAWN, D. G.; BOHN, H. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil Chemistry**. 5th Edition: Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2020, 379 p.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. **Organic matter and water-stable aggregates in soils**. Journal of Soil Science, v. 33, 1982, p. 141-163.

TORRI, D.; POESEN, J. **A review of topographic threshold conditions for gully head development in different environments**. Earth-Science Reviews, 2014, p. 73-85.

TRAORÉ, S.; OUATTARA K.; ILSTEDT, U.; SCHMIDT, M.; THIOMBIANO, A.; MALMER, A.; NYBERG, G. Effect of land degradation on carbon and nitrogen pools in two soil types of a semi-arid landscape in West Africa. **Geoderma**, v. 241-242, 2015, p. 330-338.

UNCCD. **Global Land Outlook**. First. UNCCD, Bonn, Germany, 2017, 336 p.

URI, N. D.; LEWIS, J. A. The dynamics of soil erosion in US agriculture. **Science of the Total Environment**, 1998, p. 45-58.

USDA, United States Department of Agriculture. **Soil Survey Manual**. 2017, 603 p.

VALENTIN, C.; RAJOT, J. L. Erosion and Principles of Soil Conservation. In: **Soils as a Key Component of the Critical Zone 5: Degradation and Rehabilitation**. Edited by VALENTIN, C. First Edition. Published by ISTE Ltd. and John Wiley & Sons, Inc. 2018, p. 39-82.

VANWALLEGHEM, T. **Soil Erosion and Conservation**. John Wiley & Sons, 2017, p. 1-10.

WANG, X.; ZHAO, X.; ZHANG, Z.; YI, L.; ZUO, L.; WEN, Q.; LIU, F.; XU, J.; HU, S.; LIU, B. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. **Catena**, Amsterdam, v. 137, n. 3, 2016, p. 256-268.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Proceedings of Soil Science of America**, 33, 1969, p. 131-137.

WOLKA, K.; BIAZIN, B.; MARTINSEN, V.; MULDER J. Soil and water conservation management on hill slopes in southwest Ethiopia. I. Effects of soil bunds on surface runoff, erosion and loss of nutrients. **Science of the Total Environment**, v. 757, Stoten: 142877, 2021, p. 41.

XAVIER, J. P. S.; COUTINHO, E. A. T.; TAVARES, K. C. O.; LISTO, D. G. S.; LISTO, F. L. R. Erosões Lineares no Semiárido Pernambucano: Avaliação de uma Parcela Erosiva em Microescala na Depressão São Franciscana. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, nº 2, 2020, p. 106-111.

XAVIER, R. A.; SANTOS, I. M.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. C.; BORGES NETO, I. O. Processos erosivos superficiais no município de Juazeirinho, Região Semiárida da Paraíba.

Revista do REGNE, v. 2, Número Especial: III Simpósio de Geografia Física do Nordeste – Caicó-RN, 2016, p. 113-122.

XAVIER, R. A.; SEABRA, V. S.; DORNELLAS, P. C.; DAMASCENO, J. Uso, ocupação e degradação das terras na bacia do Rio Taperoá, semiárido paraibano. In: **Rios e Homens: Cursos Transformados na Relação Sociedade-Natureza**. (Org.) ARAÚJO, S. M. S. Campina Grande: Eduepb, 2018. p. 57-75.

XU, L.; XU, X.; MENG, X. Risk assessment of soil erosion in different rainfall scenarios by RUSLE model coupled with Information Diffusion Model: A case study of Bohai Rim, China. **Catena**, v. 100, 2012, p. 74-82.

YUAN, Z.; LIAO, Y.; ZHENG, M.; ZHUO, M.; HUANG, B.; NIE, X.; WU, X.; LI, D. Relationships of nitrogen losses, phosphorus losses, and sediment under simulated rainfall conditions. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, n. 2, 2020, p. 231-241.

YÜKSEK, T.; KURDOGLU, O.; YÜKSEK, F. The effects of land use changes and management types on surface soil properties in Kafkasör Protected Area in Artvin, Turquia. **Land Degradation & Development**, v. 21, 2010, p. 582-590.

ZACHAR, D. **Soil Erosion**. Amsterdam: Elsevier, 1982, 548 p.

ZAPATA, F.; GARCIA-AGUDO, E.; RITCHIE, J. C.; APPLEBY, P. G. Introduction. In: **Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides**. Org. ZAPATA, F. Kluwer Academic Publishers, 2003, p. 1-13.

ZHANG, Q.; WANG, Z.; GUOB, Q.; TIANA, N.; SHENA, N.; WUD, B.; LIUE, J. Plot-based experimental study of raindrop detachment, interrill wash and erosion-limiting degree on a clayey loessal soil. **Journal of Hydrology**, v. 575, 2019, p. 1280-1287.

ZHANG, X.; SONG, J.; WANG, Y.; DENG, W.; LIU, Y. Effects of land use on slope runoff and soil loss in the Loess Plateau of China: A meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 755, parte 1, Stoten: 142418, 2021, p. 34.

ZHAO, G.; MU, X.; WEN, Z.; WANG, F.; and, GAO, P. Soil Erosion, Conservation, and Eco-Environment Changes in the Loess Plateau of China. **Land Degradation and Development**, v. 24, 2013, p. 499-510.

ZHOU, J.; FU, B.; DONGCHUN, Y.; LÜB, Y.; WANG, S.; GAO, G. Assessing the integrity of soil erosion in different patch covers in semi-arid environment. **Journal of Hydrology**, v. 571, 2019, p. 71-86.