



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**  
**PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**JOSÉ THALES PANTALEÃO FERREIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE PLANOSSOLOS EM DISTINTAS CONDIÇÕES  
GEOAMBIENTAIS E O EFEITO DO POUSSO EM ÁREAS SOB PROCESSO DE  
DESERTIFICAÇÃO**

**FORTALEZA – CE**

**2015**

**JOSÉ THALES PANTALEÃO FERREIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE PLANOSSOLOS EM DISTINTAS CONDIÇÕES  
GEOAMBIENTAIS E O EFEITO DO POUSIO EM ÁREAS SOB PROCESSO DE  
DESERTIFICAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Área de concentração Pedologia: Gênese e Classificação do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero

Co-orientador: Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira

**FORTALEZA – CE**

**2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- F441d Ferreira, José Thales Pantaleão.  
Desenvolvimento de planossolos em distintas condições geoambientais e o efeito do pousio em áreas sob processo de desertificação / José Thales Pantaleão Ferreira. – 2015.  
113 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2015.  
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.  
Coorientação: Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira.
1. mineralogia. 2. gênese. 3. sobrepastejo. 4. semiárido. 5. degradação. I. Título.

CDD 631.4

---

JOSÉ THALES PANTALEÃO FERREIRA

DESENVOLVIMENTO DE PLANOSSOLOS EM DISTINTAS CONDIÇÕES  
GEOAMBIENTAIS E O EFEITO DO POUSSO EM ÁREAS SOB PROCESSO DE  
DESERTIFICAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Área de concentração Pedologia: Gênese e Classificação do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero

Co-orientador: Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira

Tese aprovada em: 28/09/2015

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero - (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará

---

Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira  
Universidade de São Paulo

---

Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota  
Universidade Federal do Ceará

---

Prof. Dr. Raul Shiso Toma  
Universidade Federal do Ceará

---

Profa. Dr<sup>a</sup>. Maria Ivanilda de Aguiar  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

*À Deus.  
À minha querida mãe, minha guerreira que nunca  
mediu esforços para dar o melhor a todos filhos,  
sendo a grande responsável por minha educação.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao senhor Deus, por sempre me proteger do mal, iluminar meus caminhos e proporcionar uma vida repleta de conquistas.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Solos e Nutrição de Plantas – UFC.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão de minha bolsa durante o doutorado e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP pelo financiamento da pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Ricardo Espíndola Romero pelos ensinamentos, orientações e apoio, sendo de grande importância para realização de meu doutorado. Obrigado por tudo professor.

Ao meu co-orientador Prof. Tiago Osório Ferreira da Esalq – USP pelos ensinamentos, orientações e apoio, auxiliando efetivamente em meu doutorado.

Ao Prof. José Gerardo Beserra de Oliveira da UFC pelo apoio e por ter cedido a área de estudo em Irauçuba.

Aos professores Prof. Valdomiro Severino de Souza Júnior e Prof<sup>a</sup> Sheila Maria Bretas Bittar Schulze da UFRPE pelo apoio.

Ao amigo José Fernando Wanderley Fernandes de Lima (Zeca), Engenheiro Agrônomo da UFRPE pelo apoio logístico e incentivo.

Ao secretário Edilson do Programa de Pós-Graduação em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas – UFC, pelo apoio e presteza.

Aos amigos (a) Gildivan, Elimário, Wesley, Hermano e Mirele pelo apoio na coleta das amostras e em algumas análises.

Aos amigos (as) da UFC: Gildivan, Elmário, Zé Filho, Alisson, Cleyton Saialy, Daniel Pontes, Dimitri, Daniel Barbosa, Alcione, Carlos Levi, Cillas, Kaio, Márcio, Bruno, Gislaine, Vigínia, Izabel, Edineide, Jordânia, Priscilla, Bruna Iwata e todos os demais que direta ou indiretamente fizeram parte de minha jornada no doutorado.

As amigas doutoranda Juciane e Dr<sup>a</sup> Maria Almeida pelas sugestões em minha tese.

Aos professores e amigos (a): Fabiano, Ênio, Michelângelo, Jailson, Danilo e Mônica do Instituto Federal de Alagoas pelo apoio e incentivo.

Ao Prof. Kleyton Danilo do Instituto Federal de Alagoas pelo apoio e auxílio nas análises estatísticas.

Ao Prof. Ricardo Albuquerque Aguiar diretor do Instituto Federal de Alagoas – Câmpus Piranhas pelo apoio institucional.

Aos meus pais Ivaneide e Antônio que sempre me insentivaram em meus estudos, não medindo esforços para que tivesse uma boa educação.

A minha querida esposa Kelizângela que sempre esteve presente ao meu lado, apoiando nos momentos felizes e difíceis dessa longa jornada, desde a graduação até o doutorado e toda sua família que sempre me apoiaram.

Aos meus irmãos Elvis, Yara e Elton que sempre me apoiaram e vivenciaram minha batalha para alcançar meus objetivos.

Aos meus avós maternos D. Risalva e Sr. Ivan (vavá) e *in memoriam* a meus avós paternos D. Pureza e Sr. Nezinho e todos os tios, tias, primos, primas e parentes em geral que torceram pelo meu sucesso.

## RESUMO GERAL

A classe dos Planossolos ocupa aproximadamente 10,5% de área total do bioma Caatinga, que está entre os mais vulneráveis a mudanças climáticas globais, além de sofrer intensa degradação ambiental a ponto de apresentar áreas em processo de desertificação. A partir do exposto, este trabalho teve dois objetivos: 1- estudar Planossolos e suas características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas sob diferentes taxas de precipitação pluvial no estado do Ceará e 2- avaliar o efeito da prática de 13 anos de pousio nos atributos químicos, físicos, mineralógicos e nos compartimentos do carbono orgânico do solo, comparando-se os resultados em relação à prática de sobrepastejo em área sobre processo de desertificação. Para o primeiro estudo, foram selecionadas três áreas com Planossolos em diferentes taxas de precipitação pluvial, relevo plano a suave ondulado e mesmo material de origem. Posteriormente, foram abertas trincheiras para descrição morfológica e coleta de amostras de solo com estrutura deformada e indeformada, as quais foram levadas ao laboratório para realização de análises químicas, físicas, mineralógicas e semiquantificação de elementos totais. No segundo estudo, no entanto foram utilizadas duas áreas com 13 anos de pousio e duas áreas em sobrepastejo, todas localizadas no núcleo de desertificação de Irauçuba, no estado do Ceará. Nestas áreas foram abertas quatro mintrincheiras para coleta de amostras de solo no horizonte A. Os materiais coletados com estrutura deformada e indeformada foram utilizados para análises químicas, físicas, mineralógicas do solo e o fracionamento físico do carbono orgânico do solo. Ao final das análises para o primeiro objetivo, os Planossolos apresentaram morfologia distinta nos seguintes atributos: cor do solo no horizonte A, que escureceu com o aumento das chuvas; espessura dos horizontes A e E, que não apresentou relação direta com o aumento na taxa de precipitação; e estrutura do horizonte B, que é prismática no ambiente mais úmido e colunar em uma condição de maior semiaridez. Nos atributos físicos, os teores de silte e a relação silte/argila indicaram um estágio mais avançado de intemperismo com o aumento da precipitação pluvial. A argila dispersa em água aumentou e o grau de floculação reduziu com o aumento das chuvas, favorecendo o processo de argiluviação, principalmente nos Planossolos com caráter solódico. Nos atributos químicos, os valores de pH em água, soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) não apresentaram relação direta com o aumento na taxa de precipitação pluvial, mesmo os maiores valores sendo verificados no solo com maior semiaridez. A condição de drenagem imperfeita, comprovada pela presença de mosqueados e plintita, em áreas com o relevo plano a suave

ondulado, de modo geral, não favoreceu a ação eficiente do intemperismo, permitindo que a assembleia mineralógica não sofresse efetiva modificação nas diferentes condições de precipitação pluvial, sendo formada essencialmente pelos minerais primários: quartzo, feldspato, mica, anfibólio e secundários: caulinita, esmectita e vermiculita. Para o segundo objetivo, os resultados mostram que a prática de pousio está protegendo o solo contra o avanço do processo de desertificação, apresentando melhores resultados em seus atributos físicos e químicos em relação ao sobrepastejo. Os maiores valores de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais foram verificados nas áreas em pousio. As áreas em sobrepastejo estão se tornando arenizadas com a perda de areia fina, silte e argila e quimicamente pobres. O manejo de 13 anos de pousio não alterou a assembleia mineralógica das frações areia, silte e argila em comparação com o sobrepastejo. Os minerais esmectita, vermiculita e mica são os principais responsáveis pela estabilização do carbono orgânico associado aos minerais. As áreas ainda estão em processo de recuperação, sendo importante manter o monitoramento dos atributos do solo para entender a dinâmica da recuperação das áreas em processo de desertificação.

**Palavras-chave:** mineralogia. gênese. sobrepastejo. semiárido. degradação

## ABSTRACT

The class of Planosols holds approximately 10.5% of total area of the Caatinga biome, which is among the most vulnerable to global climate change, in addition to suffering intense environmental degradation as to present areas in process of desertification. From the foregoing, this study had two objectives: 1- study Planosols and its morphological, chemical, physical and mineralogical characteristics under different rainfall rates in the state of Ceará and 2 evaluate the effect of the practice of 13 years in fallow attributes chemical, physical, mineralogical and organic soil carbon compartments, comparing the results of the practice of overgrazing in the area over the desertification process. For the first study, three areas were selected Planosols at different rates of rainfall, relief plane to gently rolling and even source material. Subsequently, trenches were opened for morphological description and collection of soil samples with disturbed and undisturbed soil structure which were taken to the laboratory for chemical, physical, mineralogical and semiquantification total element analysis. In the second study, both have been used two areas with 13 years of fallow and two areas where overgrazing, all located in the core Irauçuba desertification in the state of Ceará. These areas were opened four mintrincheiras to collect soil samples on the horizon A. The materials collected from disturbed and undisturbed soil structure were used for chemical, physical, mineralogical soil and physical fractionation of soil organic carbon. At the end of the analysis for the first goal, Planosols showed a distinct morphology, especially in relation to soil color on the horizon that darkened with increased rainfall, the thickness of horizons A and E which showed no direct relation to the increase in the rate precipitation and B horizon structure which is prismatic in more humid environment and in a columnar greater semiaridez condition. For the physical attributes in silt and silt relationship / clay indicate a more advanced stage of weathering with increasing rainfall. The clay dispersed in water increases and the degree of flocculation reduces with increased rainfall, favoring the process of Argilluviation, especially in Planosols with Solodic character. In chemical properties pH values in water, sum of bases (SB), capacity of cation exchange (CEC) and base saturation (V%) are not directly related to the increase in rainfall rate, even higher values It is scanned on the ground with greater semiaridez. Imperfect drainage condition, proven by the presence of mottled, plinthite and relief (the gently rolling plan), generally did not favor the efficient weathering action, allowing the mineralogical assembly did not suffer actual change in

different conditions of precipitation essentially being formed by primary minerals: quartz, feldspar, mica, amphibole and secondary: kaolinite, smectite and vermiculite. For the second goal, the results show that the practice of fallow is protecting the soil against the advance of desertification, with better results in their physical and chemical attributes in relation to overgrazing. The highest total organic carbon values, particulate organic carbon and organic carbon associated to minerals were found in the fallow land. The areas where overgrazing are becoming arenizadas with the loss of fine sand, silt and clay and chemically poor. The management 13 years fallow did not alter the mineralogical assembly of sand, silt and clay compared to overgrazing. The smectite minerals, vermiculite and mica are the main responsible for the stabilization of organic carbon associated with minerals. The areas are still in the recovery process, it is important to maintain the monitoring of soil attributes to understand the dynamics of the recovery of areas in process of desertification.

**Keywords:** mineralogy. genesis. overgrazing. semiarid. degradation

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Dados de precipitação pluvial média anual (Pr) e evapotranspiração de referência média anual (ET0) para os locais estudados.....	38
Figura 2. Mapa do estado do Ceará destacando-se os municípios e a localização das áreas de estudo.....	39
Figura 3. Relação entre a taxa de precipitação pluvial e a espessura dos horizontes A e E nos solos estudados (A – perfil 1; B – perfil 2; C – perfil 3).....	45
Figura 4. Presença de voçoroca próximo a área da trincheira do perfil 3.....	46
Figura 5. Distribuição e classificação dos horizontes do PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico (Perfil 1 – Caucaia); PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 2 – Pentecoste) e PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 3 – Irauçuba) .....	48
Figura 6. Mapa do estado do Ceará destacando-se o município de Irauçuba e a localização das áreas de estudo.....	78
Figura 7. Áreas de estudo no município de Irauçuba - CE. A: pousio 1 (cercada) e sobrepastejo 1; B: pousio 2 (cercada) e sobrepastejo 2.....	79
Figura 8. Imagens da área 1: (A) evidenciando a presença de voçorocas no sobrepastejo e (B) destacando a revegetação da área após 13 anos em pousio.....	85
Figura 9. Dendrograma de dissimilaridade entre os grupos estabelecida por distância euclidiana a partir dos atributos químicos (A) e físicos (B) analisados nas áreas de pousio e sobrepastejo.....	101

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1. Atributos morfológicos de Planossolos em áreas com distintas taxas de precipitação pluvial nos municípios de Caucaia, Pentecoste e Irauçuba (CE).....	47
Tabela 2. Atributos físicos de três Planossolos em áreas com distintas taxas de precipitação pluvial no estado do Ceará.....	50
Tabela 3. Atributos químicos de três Planossolos em áreas com distintas taxas de precipitação pluvial no estado do Ceará.....	53
Tabela 4. Morfologia dos grãos na fração areia dos Planossolos em áreas com precipitação pluvial distinta no estado do Ceará.....	56
Tabela 5. Composição mineralógica das frações areia, silte e argila dos Planossolos em áreas com precipitação pluvial distinta no estado do Ceará.....	57
Tabela 6. Valores semiquantitativos, expressos em forma de óxidos, determinados por fluorescência de raios-X (FRX) e Ki e índice químico de alteração (CIA) dos solos estudados.....	61
Tabela 7. Granulometria e atributos físicos do solo sob condição de pousio e sobrepastejo em áreas em processo de desertificação no município de Irauçuba-CE.....	84
Tabela 8. Características químicas do solo sob condição de pousio e sobrepastejo em áreas em processo de desertificação no município de Irauçuba-CE..	90
Tabela 9. Fracionamento do carbono orgânico do solo em condições de pousio e sobrepastejo, Irauçuba-CE.....	93
Tabela 10. Composição mineralógica das frações areia, silte e argila e características químicas da argila em condições de pousio e sobrepastejo, Irauçuba-CE.....	98

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
UNCCD	Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação
DCA	Departamento de Ciências Atmosféricas
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
dag kg <sup>-1</sup>	Decagrama por quilograma
cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Centimol de carga por quilograma
kg	Quilograma
g	Gramas
mm	Milímetro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Planossolos</b> .....	16
2.1.1	<i>Área de ocorrência e uso agrícola de Planossolos</i> .....	16
2.1.2	<i>Suscetibilidade dos Planossolos ao processo de degradação</i> .....	17
2.1.3	<i>Mineralogia de Planossolos</i> .....	18
2.1.4	<i>Gênese de Planossolos</i> .....	19
<b>2.2</b>	<b>O semiárido brasileiro</b> .....	21
2.2.1	<i>Características gerais e áreas de ocorrência</i> .....	21
<b>2.3</b>	<b>O processo de desertificação no semiárido</b> .....	23
2.3.1	<i>Definições, histórico e características gerais</i> .....	23
2.3.2	<i>Os agentes e efeitos da degradação dos solos em processo de desertificação</i> ....	25
2.3.3	<i>Desmatamento e queimadas no semiárido brasileiro</i> .....	27
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	29
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DE PLANOSSOLOS SOB DIFERENTES TAXAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO CEARÁ</b> .....	34
	<b>RESUMO</b> .....	34
	<b>ABSTRACT</b> .....	35
<b>3.1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	36
<b>3.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	38
3.2.1	<i>Seleção dos solos e caracterização das áreas de estudo</i> .....	38
3.2.2	<i>Caracterização do município de Caucaia – CE</i> .....	39
3.2.3	<i>Caracterização do município de Pentecoste – CE</i> .....	39
3.2.4	<i>Caracterização do município de Irauçuba – CE</i> .....	40
3.2.5	<i>Análises químicas e físicas</i> .....	40
3.2.6	<i>Análises Mineralógicas</i> .....	41
3.2.7	<i>Análise da composição química semiquantitativa</i> .....	42
<b>3.3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	44
3.3.1	<i>Atributos morfológicos</i> .....	44
3.3.2	<i>Atributos físicos</i> .....	48

3.3.3	<i>Atributos químicos.....</i>	51
3.3.4	<i>Mineralogia das frações areia grossa, areia fina, silte e argila.....</i>	55
3.3.5	<i>Composição química semiquantitativa.....</i>	60
<b>3.4</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>
	<b>APÊNDICE 1 – DESCRIÇÃO DO PERFIL 1.....</b>	<b>69</b>
	<b>APÊNDICE 2 – DESCRIÇÃO DO PERFIL 2.....</b>	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE 2 – DESCRIÇÃO DO PERFIL 3.....</b>	<b>73</b>
<b>4.</b>	<b>EFEITO DO POUSIO DE 13 ANOS EM ÁREAS SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO EM IRAUÇUBA-CE.....</b>	<b>74</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>74</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>75</b>
<b>4.1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>76</b>
<b>4.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>78</b>
4.2.1	<i>Caracterização da área estudada.....</i>	78
4.2.2	<i>Tratamentos, amostragem e localização.....</i>	79
4.2.3	<i>Análises químicas e físicas.....</i>	80
4.2.4	<i>Análises mineralógicas.....</i>	81
4.2.5	<i>Análises estatísticas.....</i>	82
<b>4.3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>83</b>
4.3.1	<i>Atributos físicos.....</i>	83
4.3.2	<i>Atributos químicos.....</i>	89
4.3.3	<i>Fracionamento físico do carbono orgânico.....</i>	92
4.3.4	<i>Atributos mineralógicos.....</i>	96
4.3.5	<i>Dendrograma.....</i>	100
<b>4.4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>102</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>103</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A classe dos Planossolos ocupa aproximadamente 10,5% de área total da Caatinga (JACOMINE, 1996), que é o único bioma tipicamente brasileiro e está entre os mais vulneráveis em um cenário de mudanças climáticas, deixando um estado de alerta para o semiárido brasileiro, uma vez que o aumento das temperaturas globais representa importante fator de pressão para a desertificação na região (OYAMA; NOBRE, 2003).

Segundo Zarcha, Sivakumara e Sharma (2015), as mudanças climáticas globais devem aumentar a frequência, duração e a gravidades das secas, principalmente em regiões de clima hiperárido, árido e semiárido, onde a disponibilidade de chuvas e umidade do solo já é baixa.

Essas mudanças climáticas têm despertado interesse de pesquisadores sobre seus efeitos no desenvolvimento dos solos (EGLI *et al.*, 2009). Segundo Barbosa *et al.* (2015), em função da importância do clima no desenvolvimento dos solos, pesquisas com sequências de solos em condições climáticas distintas, podem representar importante ferramenta para inferir sobre a influência das alterações climáticas nos processos pedogenéticos.

Em um gradiente climático pode-se estudar características importantes na classe dos Planossolos que ainda geram discussões, como a formação do gradiente textural, geralmente atribuída à influência de transporte e deposição de material de granulometria mais grosseira em superfície. Contudo, alguns pesquisadores atribuem esta formação a processos pedogenéticos como a argiluviação, destruição da argila por ferrólise nos horizontes mais superficiais, formação “*in situ*” de argila ou perda seletiva de argila no horizonte A e E (IBRAIMO *et al.*, 2004; PARAHYBA, SANTOS; ROLIM NETO, 2009; PARAHYBA *et al.*, 2010).

O Planossolo também é encontrado em três dos quatro núcleos de desertificação (Irauçuba, Seridó e Cabrobó) delimitados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2004). Conforme dados de Soares *et al.* (1995), o Ceará possui 14% de sua área suscetível ao processo de desertificação, destacando-se o município de Irauçuba e a região dos Inhamuns e do médio Jaguaribe, como as áreas mais afetadas. Segundo MMA (2004), o estado do Ceará possui 105 municípios na região semiárida suscetível ao processo de desertificação, sendo superando apenas pelos estados da Paraíba e da Bahia, respectivamente com 150 e 159 municípios. Entretanto neste cenário considera-se Irauçuba uma das áreas mais críticas ao processo de desertificação no semiárido do Ceará (LEITE; SOARES; MARTINS, 1993; SOARES *et al.*, 1995).

O avanço do processo de desertificação no semiárido traz a necessidade de alternativas para combater essa degradação ambiental, e uma das formas é recorrer à prática de pousio da área, para promover a restauração das condições ambientais de forma espontânea e regenerar o ambiente degradado de forma econômica. Porém, o tempo de restauração varia com o grau de degradação ao qual o solo foi submetido (LAMB *et al.*, 2005).

O pousio é uma área fechada para evitar a utilização agrícola e entrada de animais domesticados, com o objetivo de promover a regeneração natural das plantas e reduzir a degradação do solo (MEKURIA *et al.*, 2011).

A partir do exposto, este trabalho teve dois objetivos: 1- avaliar a origem autóctone ou alóctone dos Planossolos e suas características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas sob diferentes taxas de precipitação pluvial e 2- avaliar o efeito da prática de 13 anos de pousio nos atributos químicos, físicos, mineralógicos e nos compartimentos do carbono orgânico do solo, comparando-se os resultados em relação à prática de sobrepastejo em área sobre processo de desertificação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Planossolos

Os Planossolos são solos minerais com textura mais leve nos horizontes A e/ou E, que contrasta abruptamente com o horizonte B plânico imediatamente subjacente (Oliveira, 2011; IBGE, 2015). Estes solos podem ter plintita, em quantidade ou em posição não diagnóstica para enquadramento na classe dos Plintossolos, e também podem apresentar horizonte glei, desde que não obedçam aos requisitos para Gleissolo. Esta ordem de solo possui horizonte B plânico com estruturas primárias, colunares ou em blocos angulares e subangulares muito grandes a médios, e às vezes maciça ( OLIVEIRA, 2011; EMBRAPA, 2013).

O horizonte B plânico apresenta-se adensado e pode apresentar elevado teor de argila dispersa em água, o que favorece a restrição à percolação de água e formação, por vezes, de lençol de água suspenso em períodos chuvosos, podendo originar plintita e cores acinzentadas e escurecidas no horizonte Bt (OLIVEIRA, 2011; EMBRAPA, 2013; IBGE, 2015).

A ordem dos Planossolos é dividida em duas subordens: os Planossolos Nátricos e Planossolos Hápticos (OLIVEIRA, 2011; EMBRAPA, 2013; IBGE, 2015). Os Planossolos Nátricos apresentam horizonte B plânico com caráter sódico ( $PST \geq 15\%$ ) imediatamente abaixo de um horizonte A ou E ou dentro de 120 cm a partir da superfície, desde que na parte superior do horizonte B tenha a soma de Mg +Na trocável seja maior que Ca + H, enquanto os Hápticos são aqueles que não se enquadram nos requisitos anteriores (EMBRAPA, 2013).

#### 2.1.1 Área de ocorrência e uso agrícola de Planossolos

De acordo com dados da FAO (2006), a classe de Planossolos ocupa grandes áreas em regiões subtropicais e temperadas com alternância clara de estações secas e úmidas. Como exemplo das regiões de ocorrência tem-se a América Latina, África, leste dos Estados Unidos, Sudeste Asiático e Austrália. Sua extensão total é estimada em cerca de 130 milhões de hectares, dos quais 40% se encontram na América Latina.

No Brasil, os Planossolos ocorrem principalmente na região Nordeste, onde são utilizados com pastagem e cultivos de subsistência, e no estado do Rio Grande do Sul em

cultivos de arroz. No semiárido brasileiro os Planossolos ocupam aproximadamente 10,5% da área total do bioma caatinga no Brasil (JACOMINE, 1996).

Segundo Mota e Oliveira (1999), somente no estado do Ceará, em aproximadamente 13.000 km<sup>2</sup>, ocorrem associações de solos anteriormente denominados Planossolos Solódicos. Os Planossolos no Rio Grande do Sul, ocupam aproximadamente 56% da área total dos solos hidromórficos, representando cerca de 11% da área do estado, possuindo grande importância econômica por serem cultivados em grandes extensões com arroz irrigado (CASTILHOS; MEURER, 2001; PEDROTTI *et al.*, 2003; LIMA *et al.*, 2008).

No Nordeste brasileiro, as principais limitações ao uso agrícola destes solos decorrem da falta d'água no período seco e do excesso de umidade no curto período de chuvas. Além disso, destacam-se as condições físicas do horizonte B, que são pouco favoráveis ao desenvolvimento das raízes. Deve-se também considerar a presença de sódio trocável, cuja saturação pode variar de 6 a 15% nos horizontes subsuperficiais, e a susceptibilidade à erosão, segundo Jacomine (1996).

### *2.1.2 Suscetibilidade dos Planossolos ao processo de degradação*

Os Planossolos são extremamente susceptíveis à erosão em decorrência da mudança textural abrupta, pouca profundidade, presença de Na<sup>+</sup> e baixos teores de matéria orgânica, sendo uma classe de solo frequentemente encontrada nas áreas degradadas do semiárido (RIBEIRO; SAMPAIO; GALINDO, 2009). Cunha *et al.* (2010) destacam que os Planossolos são muito susceptíveis aos processos erosivos de ação superficial, tal como erosão laminar, devido à presença de horizonte B textural com mudança textural abrupta de baixa permeabilidade, que favorece a geração de escoamento superficial, o que eleva seu grau de erodibilidade.

Dentre os Planossolos, os que apresentam maior risco de degradação são os Planossolos Nátricos e os Planossolos Háplicos eutróficos solódicos, com espessura do horizonte (A+E) inferior a 30 cm. Os Planossolos com horizonte superficial mais espesso apresentam menor susceptibilidade à degradação (RIBEIRO; SAMPAIO; GALINDO, 2009).

Segundo Galindo *et al.* (2008), as características dos Planossolos que melhor se correlacionaram com a presença de vegetação preservada são os maiores conteúdos de cascalho nos horizontes superficiais, as maiores espessuras dos horizontes A+E e os teores mais elevados de carbono orgânico. Por outro lado, as características relacionadas com a

presença de encrostamento superficial, erosão e os elevados teores de  $\text{Na}^+$  trocável foram relacionados com a vegetação mais degradada.

Os Planossolos apresentam potencial para a ocorrência de processos erosivos devido à deficiência de drenagem e a posição no relevo onde, geralmente, estes solos ocorrem (JACOMINE, 1996; GALINDO *et al.*, 2008).

Em estudo realizado por Ferreira *et al.* (2016), com Planossolos em distintas condições climáticas, foi observado que o clima interferiu nas características químicas, físicas e morfológicas dos perfis. Os Planossolos em ambientes mais úmidos apresentavam horizontes A e E com maior espessura e percentual de sódio trocável (PST) menor. Estas características podem modificar a suscetibilidade destes solos ao processo de desertificação e o tempo necessário de pousio para recuperação natural dos solos.

### 2.1.3 Mineralogia de Planossolos

A classe dos Planossolos inclui solos distróficos e eutróficos, formados a partir de materiais de origem diversos, podendo apresentar desde uma mineralogia essencialmente caulínica, até predominantemente esmectítica, mas sempre apresentando baixos teores de óxidos de ferro livre, devido às condições de formação e ao hidromorfismo relativamente acentuado a que estão sujeitos durante alguma parte do ano (OLIVEIRA, 2007).

A ocorrência de elevada quantidade de minerais 2:1 nos Planossolos em regiões semiáridas, a exemplo da esmectita e vermiculita, está associada ao clima seco, com deficiência hídrica e drenagem deficiente que desfavorece a dessilicatização (CORRÊA *et al.*, 2003). As esmectitas geralmente são formadas pelo intemperismo de micas e vermiculitas, porém outra possibilidade é a ocorrência de neogênese a partir de soluções ricas em Al, Si e bases, oriundas do intemperismo de minerais primários no solo, sob baixa a moderada lixiviação de sílica (BORCHARDT, 1989).

Mota e Oliveira (1999) verificaram a presença de caulinita, vermiculita, quartzo e plagioclásios (predominantemente albita e andesita) em um Planossolo Nátrico, e vermiculita, caulinita e montmorilonita em um Planossolo Háptico no estado do Ceará. Segundo estes autores, o intemperismo da albita e de outros plagioclásios ricos em sódio em clima semiárido, associado à drenagem impedida, foram os fatores condicionantes dos percentuais elevados de sódio trocável observados nos dois pedons estudados.

Corrêa *et al.* (2003), estudando Neossolo Flúvico, Luvisolo, Planossolo Nátrico e Vertissolo, concluíram que a mineralogia cálcio-sódica da fração silte pode ser a principal responsável pelos teores elevados de cálcio, magnésio e sódio dos solos estudados. Os mesmos autores observaram na fração argila do Planossolo Nátrico a presença de minerais 2:1 expansivos (esmectita e vermiculita) nos horizontes A e Bt, atribuindo esta presença à baixa precipitação pluvial na área de estudo, aliada à alta evapotranspiração e à deficiência de drenagem do perfil. Entretanto, constataram tendência de aumento de caulinita e diminuição dos teores de esmectita na direção dos horizontes superficiais, que segundo Kämpf e Curi (2003) podem ser resultantes da maior taxa de lixiviação e dessilicatização dos horizontes superiores, com perda de Si, Al, Mg e Fe, que podem se recombinar e formar caulinita.

Em uma região sob vegetação xeromórfica no Rio de Janeiro, Ibraimo *et al.* (2004) constataram a presença de caulinita e illita na fração argila de um Planossolo Nátrico e traços de esmectita e interstratificados illita/esmectita. A permanência de elevada quantidade de illita neste ambiente pode ser atribuída à menor intensidade dos fatores climáticos, como a precipitação, reduzindo a ação da hidrólise total ou parcial com transformação para esmectita, através da perda de carga estrutural e abertura das entrecamadas para entrada de cátions hidratados. Neste mesmo solo foram constatadas, na fração areia, elevadas quantidades de quartzo, feldspatos potássicos e plagioclásios sódico-cálcicos, que podem ser os responsáveis pelos elevados teores de sódio no solo.

#### 2.1.4 Gênese de Planossolos

Uma importante discussão a respeito da gênese dos Planossolos está relacionada à origem autóctone e/ou alóctone dos mesmos e à identificação dos processos responsáveis pelo nítido contraste textural que caracteriza esta ordem.

A identificação do material depositado no solo é uma tarefa difícil, porque os materiais transportados a curtas distâncias tendem a ser semelhantes aos do local de deposição. Além disso, o intemperismo e a pedogênese podem nivelar as diferenças que permitem o reconhecimento de diferentes materiais (MICHELON *et al.*, 2010).

A simples constatação morfológica de descontinuidade litológica no perfil deve servir apenas como hipótese a ser estudada, conforme constatado por Michelin *et al.* (2010). Esses autores não encontraram indícios de descontinuidade em dois Planossolos Háplicos com nítido contraste morfológico, comprovados por balanço químico de massas e análise da

distribuição da fração areia nos perfis, sendo esta formação de origem pedogenética, com expressiva atuação do processo de eluviação-iluviação de argila.

Parahyba, Santos e Rolim Neto (2009), estudando a evolução quantitativa de três Planossolos, concluíram não haver descontinuidade litológica nos perfis estudados. Os autores verificaram que as diferenciações texturais pareciam estar mais relacionadas com maiores ou menores perdas laterais, em superfície e em profundidade, que se processam por arraste mecânico, podendo haver eluviação-iluviação. Contudo, com influência bem menor que a intemperização “in situ” de biotitas e do que as perdas impostas pelo condicionamento do relevo.

A eluviação-iluviação é um dos processos responsáveis pela formação do gradiente textural dos Planossolos, conforme observações micromorfológicas realizadas por Ibraimo *et al.* (2004) em um Planossolo Nátrico. Os autores descreveram um forte preenchimento iluvial na forma de fração fina no horizonte Bt, que parece atuar como cimento entre os grãos. O processo de eluviação-iluviação ocorre com o transporte em suspensão de partículas de minerais, especialmente as menores que  $2\mu\text{m}$ , do horizonte A e/ou E para o horizonte B. Contudo, para que este processo ocorra é necessário que as partículas estejam dispersas (FANNING; FANNING, 1989).

Segundo Silva *et al.* (2002) e Bortoluzzi, Pernes e Tessier (2008), uma das formas de identificar o processo de eluviação-iluviação de argila, influenciando a formação de gradiente textural, é a razão entre a argila fina e argila total no horizonte. Assim, quanto mais partículas finas na fração argila, maior será a probabilidade de que estas tenham sido iluviadas. Contudo estas partículas também podem ter sido neoformadas. Silva *et al.* (2002) confirmaram a presença de eluviação-iluviação de argila na formação do horizonte Bt de um Planossolo Nátrico no Sertão de Pernambuco através da análise da proporção argila fina/argila total em profundidade.

A bioturbação, realizada por organismos presentes no solo através da formação de pequenos canais, facilita a migração de assembléias de minerais e matéria orgânica para horizontes mais profundos, promovendo também o incremento na formação de gradiente textural (NOOREN *et al.*, 1995). Contudo, em condições de elevadas temperaturas e baixa precipitação este processo torna-se menos eficiente.

A ferrólise é um processo comumente citado como um dos responsáveis pelo incremento de diferenciação textural entre os horizontes no solo. Ela ocorre em ambientes com deficiência de drenagem que apresentam ciclos alternados de umedecimento e secagem,

em condições de oxidação e redução. Durante a fase de redução, o  $\text{Fe}^{2+}$  torna-se móvel e pode deslocar cátions do complexo de troca do solo para a solução, onde acabam sendo lixiviados. Já na fase de oxidação, o  $\text{Fe}^{2+}$  passa para  $\text{Fe}^{3+}$  liberando prótons que atacam a estrutura dos argilominerais, substituindo cátions e destruindo a estrutura dos minerais de argila, que liberam Al e silicatos no solo (FANNING; FANNING, 1989). A ferrólise é mais intensa quando a frequência e duração dos ciclos de oxirredução é alta, resultando na formação de horizontes ácidos descorados que, com muito tempo, podem empobrecer-se em argilas (BERG; LEPSCH; SAKAI, 1987).

## 2.2 O semiárido brasileiro

### 2.2.1 Características gerais e áreas de ocorrência

A condição de semiaridez hoje restrita à região semiárida, já foi muito mais ampla no país, no decorrer do Quaternário, por ocasião dos períodos glaciais, tendo atingido áreas que hoje são úmidas e relativamente chuvosas, muitas destas áreas em condições semiáridas eram ocupadas por vegetação de Caatinga (AB'SABER, 1977).

Após a máxima expansão dos climas secos pela América Tropical, ocorrida entre 13.000 e 18.000 anos atrás, houve uma retropicalização do conjunto, com exceção do Nordeste, o que tem como certo que esta área permaneceu seca pela retração espacial progressiva da semiaridez geral, ocorrida nos últimos 12.000 anos antes do presente (Holoceno), sabendo-se que na área nuclear do Nordeste seco, a semiaridez já existia há dezenas de milhares de anos, no Quaternário Antigo, principalmente nas depressões interplanálticas e depressões intermontanas, variando principalmente em torno da maior ou menor intensidade da própria semiaridez (AB'SABER, 1977).

Segundo Souza *et al.* (2005), a América do Sul enfrentava um clima seco durante o Pleistoceno Terminal, que possibilitava a expansão da vegetação de Caatinga em regiões ocupadas pelo cerrado e a expansão do cerrado em regiões de floresta, ocorrendo posterior retração destas vegetações com a ocorrência de climas mais úmidos.

O semiárido brasileiro é caracterizado como uma região com temperaturas médias anuais que atingem 27 a 29°C; insolação média de 2.800 h ano<sup>-1</sup> e evaporação média de 2.000 mm ano<sup>-1</sup>; umidade relativa do ar média em torno de 50%; precipitações irregulares no tempo e no espaço, concentrando-se em três a quatro meses, com médias anuais máximas de 800

mm, apresentando alternância bem delimitada de períodos chuvosos com períodos muito secos (AB'SABER, 1996; SILVA *et al.*, 2010). A escassez de água é uma característica importante desta região, com chuvas, muitas vezes, insuficientes para atender a demanda agrícola, animal e humana por água.

A região semiárida brasileira cobre uma área de 969.584,4 km<sup>2</sup>, com 1.133 municípios inseridos nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte do Norte de Minas Gerais, representando 11% do território nacional. Com uma população aproximada de 28 milhões de habitantes, sendo a região semiárida mais populosa do mundo (MMA, 2004; SILVA *et al.*, 2010; GIONGO *et al.*, 2011).

A região semiárida brasileira possui geologia variada, contudo com predomínio de rochas do embasamento cristalino, seguido de áreas sedimentares e em menor proporção, áreas cristalinas com cobertura pouco espessa de sedimento arenoso ou areno-argiloso (JACOMINE, 1996).

A região semiárida apresenta diversos tipos de solos, segundo Jacomine (1996) os principais são Latossolos (21%), Neossolos Litólicos (19,2), Argissolos (14,7%), Luvisolos (13,3), Planossolos (10,5%) e Neossolos Quartzarênicos (9,3%), que juntos constituem aproximadamente 88% dos solos sob domínio do bioma Caatinga.

A maior parte dos solos da região semiárida apresentam alguma restrição ao uso agrícola ou susceptibilidade ao processo de desertificação, seja por limitação de água, fertilidade do solo (Latosolos, Neossolos Quartzarênicos), pedregosidade (Luvisolos), pequena profundidade efetiva (Neossolos Litólicos, Planossolos e Luvisolos) presença de mudança textural abrupta entre os horizontes (Planossolos), declividade, presença de sais (Planossolos) ou por limitações na drenagem (Planossolos, Luvisolos) (SILVA *et al.*, 2010; RIBEIRO; SAMPAIO; GALINDO, 2009; CUNHA *et al.*, 2008).

A vegetação predominante na região semiárida é a Caatinga, que se estende de 2° 54' a 17° 21' S e inclui diversos estados da região Nordeste, estendendo-se também a Minas Gerais seguindo o rio São Francisco, juntamente com um enclave no vale seco da região média do rio Jequitinhonha e a ilha de Fernando de Noronha (PRADO, 2003). Segundo dados dos Levantamentos Exploratórios de Reconhecimento de Solos do Brasil, Jacomine (1996) estimou que o bioma Caatinga ocupa uma extensão de aproximadamente 748.600 km<sup>2</sup> que perfazem 8,8% do território brasileiro.

A presença da vegetação de Caatinga em outras áreas fora da região Nordeste, como no Vale do Jequitinhonha-MG e na região dos Lagos-RJ, é explicada pela teoria dos refúgios

e do reduto, por alterações climáticas ocorridas ao longo do Quaternário, modificando os mecanismos padrão de distribuição da fauna e flora ao longo de espaços fisiográficos, paisagísticos e ecologicamente mutantes, permanecendo estas “ilhas” de vegetação exótica pela presença de fatores de exceção de ordem litológica, hidrológica, topográfica e paleobotânica (AB’SÁBER, 2003; SILVA, 2011).

## **2.3 O processo de desertificação no semiárido**

### *2.3.1 Definições, histórico e características gerais*

A desertificação é conhecida desde muito tempo. Diversos povos antigos registraram a ocorrência da desertificação em seus territórios, contudo não utilizando o termo “desertificação” (SOUZA; SUERTEGARAY; LIMA, 2010).

O pesquisador Coube a Aubréville (1949) *apud* Souza; Suertegaray, Lima (2010) foi o pioneiro na internacionalização do termo desertificação, referindo-se ao intenso desmatamento das florestas na África Ocidental, relatando que os solos tornavam-se susceptíveis a erosão eólica e hídrica, criando condições que dificultavam a revegetação das áreas degradadas.

Apesar do conhecimento sobre o processo de desertificação ser antigo, somente na década de 70 o tema tornou-se mais notório, devido a grande seca que acometeu a região do Sahel africano (1968 a 1973), causando a morte de mais de 500 mil pessoas (ROXO; NEVES, 2010), provocando forte impacto social, econômico e ambiental. Posteriormente foi realizada a 1ª Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação na cidade de Nairóbi no Quênia em 1977. Neste evento, foi criado o Plano de Ação de Combate à Desertificação, que recebeu adesão de diversos países, inclusive do Brasil (SOUZA; SUERTEGARAY; LIMA, 2010).

A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, em seu primeiro artigo, define o termo desertificação como sendo “a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e sub-úmidas secas, resultantes de vários fatores, incluindo variações climáticas e as atividades humanas”. Delimitando as áreas caracterizadas como zonas áridas, semiáridas e sub-úmidas secas, como sendo aquelas que apresentam a razão de precipitação anual e evapotranspiração potencial compreendida entre 0,05 e 0,65 (UNCCD, 1998).

Segundo a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD, 1998), a degradação é a redução ou perda da produtividade biológica ou econômica e da

complexidade das terras agrícolas de sequeiro, das terras agrícolas irrigadas, das pastagens naturais, das pastagens plantadas, das florestas e das matas nativas nas zonas áridas, semiáridas e sub-úmidas secas, devido aos sistemas de utilização da terra ou a um processo ou combinação de processos, incluindo os que resultam da atividade do homem e das suas formas de ocupação do território, tais como: a erosão do solo causada pelo vento e/ou pela água; a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e a destruição da vegetação por períodos prolongados.

Ribeiro, Sampaio e Galindo (2009) criticam as definições sobre desertificação da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, pois segundo os pesquisadores, os conceitos são pouco precisos sobre as reais causas da desertificação, não estabelecendo uma sequência ou hierarquia causal dos agentes responsáveis pela desertificação. Contudo, isto reflete o conhecimento da multiplicidade de causas e da enorme gama de interações entre elas.

Segundo a Convenção das Nações Unidas (UNCCD, 1998), a desertificação afeta 1/4 (um quarto) da superfície terrestre do mundo, a qual possui 1/5 (um quinto) da população mundial. Entretanto, a real extensão desse problema continua desconhecida, pois as estimativas de áreas afetadas pela desertificação mostram grandes variações, dependendo das definições aplicadas e metodologias utilizadas na avaliação da degradação da terra (D'ODORICO *et al.*, 2013). Segundo Vogt *et al.* (2011), a falta de uma definição clara de desertificação e de metodologias padronizadas para mensurar as suas causas e consequências, resulta em diferentes quantificações de sua extensão espacial.

A preocupação com o processo de desertificação no Brasil já existia desde a década de 70. Vasconcelos Sobrinho (1976) estabeleceu indicadores que proporcionaram melhor conhecimento sobre o processo de desertificação no semiárido brasileiro, os quais são utilizados até os dias atuais. Vasconcelos Sobrinho (1982) sugeriu a delimitação de núcleos de desertificação no Brasil, os quais serviram de base para o atual mapeamento de ocorrência de desertificação no Nordeste do Brasil, que incluem quatro núcleos de desertificação: Gilbués no estado do Piauí; Seridó nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba; Irauçuba no estado do Ceará e Cabrobó no estado de Pernambuco (MMA, 2004).

No Brasil, a problemática da desertificação tem assumido lugar de destaque entre os processos de degradação do solo. Estima-se que este problema atinja uma área de aproximadamente 900.000 km<sup>2</sup>, afetando direta ou indiretamente mais de 15.000.000 de

brasileiros, não existindo no território nacional outro problema ambiental que atinja tamanha área e número de pessoas (UNCCD, 1998).

Conforme dados de Soares *et al.* (1995), o Ceará possui 14% de sua área susceptível ao processo de desertificação, destacando-se o município de Irauçuba e a região dos Inhamuns e do médio Jaguaribe, como as áreas mais afetadas. Segundo MMA (2004), o estado do Ceará possui 105 municípios na região semiárida susceptível ao processo de desertificação, sendo superando apenas pelos estados da Paraíba e da Bahia, respectivamente com 150 e 159 municípios. Entretanto, neste cenário considera-se Irauçuba uma das áreas mais críticas ao processo de desertificação no semiárido do Ceará (LEITE; SOARES; MARTINS, 1993; SOARES *et al.*, 1995).

Segundo Landim; Silva, Almeida (2011), os municípios cearenses de Irauçuba, Forquilha e Sobral compõem o Núcleo de Desertificação de Irauçuba. Este núcleo faz parte da divisão de áreas em avançado processo de desertificação realizada pelo Ministério de Meio Ambiente. Todos estes núcleos possuem solos degradados, reduzida taxa de cobertura vegetal e baixos teores de carbono orgânico no solo.

A ocupação das áreas nos núcleos de desertificação possui variação, contudo predomina a atividade ligada à agropecuária, sendo exceções os núcleos de Gilbués e do Seridó que possuem atividade de exploração mineral de relevante importância econômica, contribuindo para o processo de desertificação (MMA, 2004).

### 2.3.2 Os agentes e efeitos da degradação dos solos em processo de desertificação

O fator climático é um dos mais importantes para o processo de desertificação. As regiões de clima seco em todo o mundo apresentam forte variabilidade sazonal e interanual da precipitação. A variabilidade sazonal é tipicamente associada à presença de distintas estações secas e de chuva, concentrando as precipitações em poucos meses, seguido por um longo período seco. A variabilidade da precipitação aumenta à medida que diminuem as precipitações médias anuais, observando-se grande variabilidade em regiões de climas mais seco (D'ODORICO *et al.*, 2013). Estas regiões possuem ecossistemas frágeis, que tentam sobreviver diante das adversidades do ambiente, sendo potencializados os efeitos negativos da ação antrópica sobre o meio.

Embora a ação climática, especialmente em períodos de ocorrência do fenômeno *El Niño*, seja importante para o estabelecimento do processo de desertificação, deve-se destacar,

que somente a ação climática não justifica o avanço da desertificação no semiárido, devendo-se em grande parte à ação antrópica, com a utilização inadequada de práticas agrícolas e exploração de áreas acima de sua capacidade de suporte, reduzindo a sustentabilidade agrícola e ambiental destas áreas (LANDIM; SILVA; ALMEIDA, 2011).

A degradação nas áreas de clima seco, frequentemente inicia com o uso agrícola de terras em zonas ecologicamente frágeis. A capacidade de suporte agrícola e pecuária destas áreas geralmente é baixa e, quando excedidas, desencadeia processos de degradação dos solos, provocando erosão, compactação, encrostamento superficial, alteração da estrutura, redução da disponibilidade hídrica, perda de nutrientes e perda de matéria orgânica, reduzindo a produção de fitomassa, tendo como resultado final uma degradação acelerada (RIBEIRO; SAMPAIO; GALINDO, 2009).

Segundo Pachêco, Freire e Borges *et al.* (2006), o fenômeno da desertificação se inicia com a degradação crescente da cobertura vegetal para suprir, essencialmente, demandas energéticas (carvão vegetal) da população ou aberturas de novas áreas para pastagem. A partir deste início, com o curto regime de chuvas irregulares e torrenciais, típico do semiárido nordestino, começa a erosão nas áreas atingidas, que por sua vez causa a diminuição da capacidade de retenção de água pelos solos e a conseqüente redução de biomassa, uma vez que menores aportes de matéria orgânica chegam ao solo. No processo, a vegetação se torna cada vez mais escassa e com reduzida biodiversidade, favorecendo a passagem da radiação solar que, por sua vez, resseca ainda mais o solo, aumentando a aridez, e retroalimentando um processo de “simplificação ecológica, onde a ação do homem tem tido papel fundamental”.

A degradação dos solos está tipicamente associada à perda de solo, devido à redução inicial da cobertura vegetal. Podem-se citar três processos importantes responsáveis pela degradação e perda de sua fertilidade: (a) a remoção de partículas ricas em nutrientes do solo resultantes da erosão eólica e hídrica, (b) a diminuição da umidade do solo, associada à compactação do solo, e a diminuição da permeabilidade do solo ou perda de capacidade de retenção de água, ou (c) a acumulação de sais e outras substâncias tóxicas que impedem o reestabelecimento e crescimento da vegetação (D’ODORICO *et al.*, 2013).

Na região semiárida, a erosão hídrica também é preocupante nas áreas onde há vegetação. As primeiras chuvas encontram uma vegetação arbustiva, arbórea e herbácea com poucas folhas ou totalmente desprovidas de folhas, facilitando a ação erosiva da chuva (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005).

Segundo Sampaio; Araújo, Sampaio (2005), a erosão e a perda da fertilidade química do solo no semiárido são os dois principais processos de degradação dos solos. A erosão deixa marcas visíveis de sua ação na paisagem, com surgimento de sulcos, ravinas e voçorocas, podendo agir também de forma silenciosa e pouco perceptível, por meio de erosão laminar, que reduz drasticamente a profundidade efetiva do solo em algumas décadas. Esta preocupação com a erosão deve-se ao fato da mesma apresentar reduzida reversibilidade e por sua ocorrência ser generalizada no ambiente semiárido.

A vegetação exerce importante proteção ao solo contra os efeitos erosivos da água e do vento. Esta proteção é importante no contexto local e global, especialmente em biomas onde a cobertura é escassa ou moderada e variável no tempo (GONZÁLEZ-BOTELLO; BULLOCK, 2012), como é o caso da Caatinga. No período seco a Caatinga perde grande parte de suas folhas como estratégia de sobrevivência à falta de água, deixando o solo desprotegido e susceptível à erosão hídrica, principalmente durante o início das primeiras chuvas e à erosão eólica que é menos grave no semiárido brasileiro.

A cobertura do solo para proteção contra a erosão hídrica e eólica é formada por vários componentes como a copa das árvores, galhos, liteira, raízes e rochas (GONZÁLEZ-BOTELLO; BULLOCK, 2012), onde cada componente assume sua específica importância em diferentes situações. Alguns solos do semiárido como os Luvisolos, possuem um chamado “pavimento desértico” (grande quantidade de seixos na superfície do solo) que os protege dos agentes erosivos e da perda de umidade do solo.

### 2.3.3 Desmatamento e queimadas no semiárido brasileiro

A extração indiscriminada de madeira na Caatinga, associada ao uso do fogo, reduz a capacidade de regeneração da vegetação, tornando a situação mais crítica a cada evento de corte e queima. Sampaio *et al.* (1998) verificaram que a vegetação da Caatinga reduziu sua biomassa, área basal e alterou o número de espécies com o aumento da intensidade da queimada. Todas estas variáveis foram quantitativamente menores quando comparadas com a vegetação que sofreu o corte, mas não a queima. Isso indica o efeito negativo desta prática ainda muito comum no semiárido brasileiro e que favorece o avanço da degradação e desertificação das áreas agrícolas.

O corte e queima da vegetação de Caatinga afeta diretamente a capacidade de rebrota das plantas, pois pode provocar morte do tecido meristemático. A capacidade de rebrota

também é dependente das reservas acumuladas no sistema radicular, nos troncos de caule, até que a rebrota se torne autossuficiente em fotossintatos e comece a contribuir com o acúmulo de reservas. Os efeitos do corte e queima são mais pronunciados aos 2 anos após este evento, reduzindo os efeitos aos 6 anos, até que a vegetação recupera sua condição inicial (SAMPAIO *et al.*, 1998)

A ação antrópica sobre a vegetação da Caatinga manifesta efeitos tanto na concentração de espécies de plantas, como na ausência de algumas espécies nos ambientes mais perturbados (PEREIRA *et al.*, 2001). Segundo os mesmos autores, essa ação causa alteração na predominância de determinadas espécies ou no surgimento gradual de outras, à medida que diminui a intensidade da perturbação. Algumas espécies são mais resistentes à perturbação antrópica e apresentam densidades inversamente proporcionais aos níveis de perturbação, como é o caso do *Croton sonderianus* (PEREIRA *et al.*, 2001), que também é resistente ao uso do fogo (SAMPAIO *et al.*, 1998), sendo considerada uma espécie pioneira no processo de regeneração da Caatinga.

A prática de cultivo agrícola associada à utilização do fogo e pousio é comum no semiárido. As cinzas, oriundas da queima da vegetação, melhoram os atributos químicos do solo. Contudo, com o passar do tempo o solo torna-se pobre. Este comportamento foi verificado em experimento em Caatinga realizado por Nunes; Araújo Filho, Menezes (2006), no qual o efeito fertilizante das cinzas foi observado até os 3 primeiros anos após a queima. Nos anos posteriores, foi observada redução nos indicadores químicos da qualidade do solo, verificando-se recuperação da fertilidade somente após 5 anos de pousio.

A queima da vegetação pode elevar o pH do solo e os teores de P, Ca, Mg e K. Contudo, também elimina a biomassa microbiana (FERNANDEZ; CABANEIRO e CARBAL-LAS, 1997; NUNES; ARAÚJO FILHO; MENEZES, 2006), reduzindo a disponibilidade de nitrogênio para as plantas. O fósforo presente nas cinzas após a queima encontra-se em formas indisponíveis para as plantas, contribuindo para a diminuição de sua disponibilidade (NOVAIS; SMITH, 1999).

O tempo de pousio necessário para regeneração da Caatinga e melhoria da fertilidade do solo para uso agrícola é variável, devido à diversidade edafoclimática do semiárido e da intensidade de degradação da área. Nunes; Araújo Filho, Menezes (2006) verificaram que o pousio por 5 anos de uma área sob Caatinga, após queima e cultivo por 2 anos com milho e feijão, no município de Sobral-CE, favoreceu a recuperação da qualidade do solo, verificados pelos indicadores químicos, físicos e biológicos.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. Primeira aproximação. **Geomorfologia**, n. 52, p. 1-22, 1977.
- AB' SABER, A. N. Domínios morfo-climáticos e solos do Brasil. In: ALVARES V., V. H.; FONTES, L. E. F. e FONTES, M. P. F., eds. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa-MG, SBCS; UFV, DCS, 1996. p. 930.
- BARBOSA, W. R. *et al.* Effects of slope orientation on pedogenesis of altimontane soils from the Brazilian semi-arid region (Baturité massif, Ceará). **Environmental Earth Sciences**, v.73, p. 3731–3743, 2015.
- BERG, M. V. D.; LEPSCH, I. F.; SAKAI, E. Solos de planícies aluviais do vale do rio ribeira de Iguape, SP - II Relações entre características físicas e química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 315-321, 1987.
- BORCHARDT, G. Smectites. In: DIXON, J. B. & WEED, S. B., eds. **Minerals in soil environments**. 2ª ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p. 675-728.
- BORTOLUZZI, E. C.; PERNES, M.; TESSIER, D. Mineralogia de partículas envolvidas na formação de gradiente textural em um Argissolo subtropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 997-1007, 2008.
- CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Cinética de liberação de potássio em planossolo do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 31, p. 979-983, 2001.
- CORRÊA, M. M. *et al.* Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Souza (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 311-324, 2003.
- CUNHA, T. J. F. *et al.* **Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo**. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, 2010. p. 402.
- CUNHA, T. J. F. *et al.* **Solos do submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola**. Petrolina-PE, Embrapa Semiárido, (Documentos, 211) 60p. 2008.
- D'ODORICO, P. *et al.* Global desertification: Drivers and feedbacks. **Advances in Water Resources**, vol. 51, p. 326–344, 2013.
- EGLI, M. *et al.* Effect of north and south exposure on organic matter in high Alpine soils. **Geoderma**, v. 149, p. 124–136, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília-DF, EMBRAPA, 2013. 353p.

- FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. **Soil, morphology, genesis and classification**. New York, John Wiley Sons, 1989. 395p.
- FAO. IUSS Working Group WRB. 2006. **World reference base for soil resources**. World Soil Resources Reports N°. 103. FAO, Roma. 2006.
- FERNANDEZ, I.; CABANEIRO, A.; CARBAL-LAS, T. Organic matter changes immediately after a wild-fire in Atlantic Forest soil and comparison with laboratory soil heating. **Soil Biology & Biochemistry**, v.29, p. 1-11, 1997.
- FERREIRA, J. T. P. *et al.* Planosols Developed in Different Geoenvironmental Conditions in Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-18, 2016.
- GALINDO, I. C. D. L. *et al.* Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no Município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1283-1296, 2008.
- GIONGO, V. *et al.* Carbono no sistema solo-planta no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia**, v.6, p. 1233-1253, 2011.
- GONZÁLEZ-BOTELLO, M. A.; BULLOCK, S. H. Erosion-reducing cover in semi-arid shrubland. **Journal of Arid Environments**, v. 84, p. 19-25, 2012.
- IBRAIMO, M. M. *et al.* Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (caatinga) na região dos Lagos (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 695-712, 2004.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual Técnico de Pedologia. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2015. 430 p.
- JACOMINE, P. K. T. Solos sob Caatinga: características e uso agrícola no semiárido brasileiro. In. ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996. p.95-133.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N. *et al.* eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2003. v. 3, p.1-54.
- LAMB, D.; ERSKINE, P. D.; PARROTTA, J. A. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, v. 310, p.1628–1632, 2005.
- LANDIM, R. B. T. V.; SILVA, D. F. da; ALMEIDA, H. R. R. C. Desertificação em Irauçuba (CE): Investigação de Possíveis Causas Climáticas e Antrópicas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, p. 1-021, 2011.
- LEITE, F. R. B.; SOARES, A. M. L.; MARTINS, M. L. R. **Áreas degradadas susceptíveis ao processo de desertificação no Ceará – 2ª aproximação**. Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 156-161p. 1993.
- LIMA, C. L. R. D. *et al.* Atributos físicos de um planossolo háplico sob sistemas de manejo

comparados aos do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1849-1855, 2008.

MEKURIA, W. *et al.* Restoration of ecosystem carbon stocks following exclosure establishment in communal grazing lands in Tigray, Ethiopia. **Soil Science Society of America Journal**, v.75, p. 246–256, 2011.

MICHELON, C. R. *et al.* Causes of morphological discontinuities in soils of Depressão Central, Rio Grande do Sul State, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 319-326, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil**. Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília – DF, 2004. 213p.

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B. Mineralogia de solos com excesso de sódio no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.799-806, 1999.

NOOREN, C. A. M. *et al.* The role of earthworms in the formation of sandy surface soils in a tropical forest in Ivory-coast. **Geoderma**, v. 65, n. 1-2, p. 135-148, 1995.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999, 399p.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J.A.; MENEZES, R. I. Q. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob Caatinga no semi-árido nordestino. **Revista Caatinga**, v.19, n.2, p.200-208, 2006.

OLIVEIRA, L. B. **Mineralogia, micromorfologia, gênese e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semi-árido do nordeste brasileiro**. 2007. 169f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 4ª Ed – Piracicaba, FEALQ. 592p, 2011.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 30, p. 2199–2203, 2003.

PACHÊCO, A. P.; FREIRE, N. C. F.; BORGES, U. N. A transdisciplinaridade da desertificação. Universidade Estadual de Londrina, **Revista Geografia**, v. 15, n. 1, p.5-34, 2006.

PARAHYBA, R. D. B. V. *et al.* Pedogênese de Planossolos em topossequência do agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1991-2000, 2010.

PARAHYBA, R. D. B. V.; SANTOS, M. C. D.; ROLIM NETO, F. C. Evolução quantitativa de Planossolos do agreste do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 991-999, 2009.

PEDROTTI, A. *et al.* Tomografia computadorizada aplicada a estudos de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 819-826, 2003.

- PEREIRA, I. M. *et al.* Regeneração natural em um remanescente de Caatinga sob diferentes níveis de perturbação, no agreste paraibano. **Acta Botanica Brasilica**, vol. 15, n. 3, p. 413-426, 2001.
- PRADO, D. E. As caatingas da América do sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife-PE, Ed. Universitária da UFPE, 2003, 822p.
- RIBEIRO, M. R.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GALINDO, I. C. L. Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro. In: RIBEIRO, M. R. *et al.* eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa-MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.413-454.
- ROXO, M. J.; NEVES, B. M. A. A percepção do fenômeno da desertificação em Portugal e no Brasil: a importância de informar a sociedade. In: Moreira, E.; TARGINO, I. **Desertificação, desenvolvimento sustentável e agricultura familiar: recortes no Brasil, em Portugal e na África**. João Pessoa-PB, Editora Universitária da UFPB, 9-28p. 2010.
- SAMPAIO, E. V. S. B. *et al.* Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima em Serra Talhada-PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 33, p. 621-632, 1998.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Propensão à desertificação no semi-árido brasileiro. **Revista de Geografia**, v.22, n.2, 67-76, 2005.
- SILVA, M. L. A Dinâmica de Expansão e Retração de Cerrados e Caatingas no Período Quaternário: Uma Análise Segundo a Perspectiva da Teoria dos Refúgios e Redutos Florestais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 1, p. 57-073, 2011.
- SILVA, M. S. L. D. *et al.* Adensamento subsuperficial em solos do semiárido: processos geológicos e/ou pedogenéticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 314-320, 2002.
- SILVA, P. C. G. *et al.* Caracterização do semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G., eds. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina-PE, Embrapa Semiárido, 2010. 402p.
- SOARES, A. M. L. *et al.* Áreas degradadas susceptíveis ao processo de desertificação no Ceará. In: GOMES, G. M.; SOUZA, H. R.; MAGALHÃES, A.R. **Desenvolvimento Sustentável no Nordeste**, IPEA, Brasília, 1995.
- SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Mapeamento da desertificação nos Cariris Velhos – PB – Brasil. In: MOREIRA, E.; TARGINO. **Desertificação, desenvolvimento sustentável e agricultura familiar: recortes no Brasil, em Portugal e na África**. João Pessoa – PB, Editora Universitária da UFPB, 2010. 47-64p.
- SOUZA, C. R. G. *et al.* **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. 378p.
- UNCCD. **Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação nos Países afetados por Seca Grave e ou Desertificação, particularmente na África**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e a Amazônia Legal. Brasília, 3ª ed. 1998. 171p.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **O processo de desertificação do Nordeste**. Brasília, Senado Federal. Brasília, 1976.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Processos de desertificação ocorrentes no Nordeste do Brasil: Sua gênese e sua contenção**. Recife, SEMA/SUDENE, 1982. 101p.

VOGT, J. V. *et al.* Monitoring and assessment of land degradation and desertification: towards new conceptual and integrated approaches. **Land Degradation & Development**, vol. 22, p. 150–65, 2011.

ZARCHA, M. A. A.; SIVAKUMARA, B.; SHARMA, A. Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI). **Journal of Hydrology**, v. 526, p. 183–195, 2015.

### 3. DESENVOLVIMENTO DE PLANOSSOLOS SOB DIFERENTES TAXAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO CEARÁ

#### RESUMO

A classe dos Planossolos ocupa aproximadamente 10,5% de área total da Caatinga, único bioma tipicamente brasileiro, e que está entre os mais vulneráveis às mudanças climáticas globais. Portanto, o estudo desses solos em condições climáticas distintas é uma importante ferramenta para inferir sobre a influência das alterações climáticas nas características do solo. A partir do exposto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar Planossolos e suas características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas sob diferentes taxas de precipitação pluvial no estado do Ceará. Para tanto, foram selecionadas três áreas com Planossolos em diferentes taxas de precipitação pluvial, relevo plano a suave ondulado e mesmo material de origem. Posteriormente, foram abertas trincheiras para descrição morfológica e coleta de amostras de solo com estrutura deformada e indeformada que, as quais foram levadas ao laboratório para realização de análises químicas, físicas, mineralógicas e semiquantificação de elementos totais. Os Planossolos apresentaram morfologia distinta nos seguintes atributos: cor do solo no horizonte A, que escureceu com o aumento das chuvas; a espessura dos horizontes A e E que não apresentou relação direta com o aumento na taxa de precipitação; e a estrutura do horizonte B, que é prismática no ambiente mais úmido e colunar em uma condição de maior semiaridez. Nos os atributos físicos, os teores de silte e a relação silte / argila indicaram um estágio mais avançado de intemperismo com o aumento da precipitação pluvial. A argila dispersa em água aumentou e o grau de floculação reduziu com o aumento das chuvas, favorecendo o processo de argiluviação, principalmente nos Planossolos com caráter solódico. Nos atributos químicos, observou-se que os valores de pH em água, soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) não apresentaram relação direta com o aumento na taxa de precipitação pluvial, mesmo os maiores valores sendo verificados no solo com maior semiaridez. A condição de drenagem imperfeita, comprovada pela presença de mosqueados e plintitas, de modo geral, não favoreceu a ação eficiente do intemperismo, permitindo que a assembleia mineralógica não sofresse efetiva modificação nas diferentes condições de precipitação pluvial, sendo formada essencialmente pelos minerais primários: quartzo, feldspato, mica, anfibólio e secundários: caulinita, esmectita e vermiculita.

**Palavras-chave:** mineralogia, descontinuidade litológica e gênese.

## ABSTRACT

The Planosols class occupies approximately 10.5% of the total area of the Caatinga, the only Brazilian biome, and is among the most vulnerable to global climate change. Therefore, the study of these soils under different climatic conditions is an important tool to infer about the influence of climate change on the morphological, chemical, physical and mineralogical characteristics of the soil. From the above, this work was developed with the objective of studying Planosols and their morphological, chemical, physical and mineralogical characteristics under different rainfall rates in the state of Ceará. In order to do so, three areas were selected with Planosols at different rates of rainfall, flat relief to smooth corrugation and even source material. Subsequently, trenches were opened for morphological description and collection of soil samples with deformed and undisturbed structure, which were taken to the laboratory for chemical, physical, mineralogical and semiquantification of total elements. The Planosols presented distinct morphology in the following attributes: soil color in horizon A, which darkened with increasing rainfall; The thickness of the horizons A and E that did not present direct relation with the increase in the precipitation rate; And the structure of the B horizon, which is prismatic in the wetter and columnar environment in a more semi-arid condition. In the physical attributes, the silt contents and the silt / clay ratio indicate a more advanced stage of weathering with increasing rainfall. The clay dispersed in water increases and the degree of flocculation reduces with the increase of rainfall, favoring the process of argiluviation, especially in Planosols with a solodic character. In the chemical attributes, it was observed that the values of pH in water, sum of bases (S), cation exchange capacity (CTC) and base saturation (V%) are not directly related to the increase in the rainfall rate , Even the highest values being verified in the soil with higher semimation. The condition of imperfect drainage, evidenced by the presence of moths and plinthite, together with the relief (flat to smooth corrugated), did not favor the efficient action of weathering, allowing the mineralogical assembly not to undergo an effective modification in the different conditions of Precipitation, being formed mainly by the primary minerals: quartz, feldspar, mica, amphibole and secondary: kaolinite, smectite and vermiculite.

**Keywords:** mineralogical, lithological discontinuity and genesis.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O bioma Caatinga está entre os mais vulneráveis em um cenário de mudanças climáticas, uma vez que o aumento das temperaturas globais representa importante fator de pressão para a desertificação na região (OYAMA; NOBRE, 2003).

Segundo Zarcha, Sivakumara e Sharma (2015), as mudanças climáticas globais devem aumentar a frequência, duração e a gravidades das secas, principalmente em regiões de clima hiperárido, árido e semiárido, onde a disponibilidade de chuvas e umidade do solo já é baixa.

Essas mudanças climáticas têm despertado interesse de pesquisadores sobre seus efeitos no desenvolvimento dos solos (EGLI *et al.*, 2009). Segundo Barbosa *et al.* (2015), em função da importância do clima no desenvolvimento dos solos, pesquisas com sequências de solos em condições climáticas distintas, podem representar importante ferramenta para inferir sobre a influência das alterações climáticas nos processos pedogenéticos.

Os Planossolos representam uma importante classe de solo para estudar a influência das alterações climáticas no semiárido brasileiro, pois ocupam aproximadamente 10,5% da área total do bioma Caatinga (JACOMINE, 1996). Na caatinga, esses solos, são utilizados com pecuária extensiva e cultivos especialmente de milho, feijão e algodão, principalmente quando possuem horizonte A e E mais espesso (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2000) que, segundo Ribeiro, Sampaio e Galindo (2009), são os menos susceptíveis à erosão.

As principais limitações ao uso agrícola destes solos decorrem da falta d'água no período seco e de suas propriedades físicas que podem dificultar o desenvolvimento das plantas. O adensamento do horizonte Bt ocasiona drenagem deficiente, maior resistência mecânica à penetração de raízes e menor disponibilidade de água e nutrientes para as plantas (SILVA *et al.*, 2002; CUNHA *et al.*, 2010). Esses aspectos têm implicações diretas com o manejo agrícola desses solos, pois aumentam o potencial erosivo com a possibilidade de escoamento superficial da água não infiltrada.

De acordo com a Embrapa (2013), a ordem dos Planossolos é dividida em duas subordens: os Planossolos Nátricos e Planossolos Háplicos. Os Planossolos Nátricos apresentam horizonte B plânico com caráter sódico ( $PST \geq 15\%$ ) imediatamente abaixo de um horizonte A ou E ou dentro de 120 cm a partir da superfície, desde que na parte superior do horizonte B tenha a soma de  $Mg^{2+} + Na^+$  trocável maior que  $Ca^{2+} + H^+$ , enquanto os Háplicos são aqueles que não se enquadram nos requisitos anteriores.

Em um gradiente climático pode-se estudar características importantes na classe dos Planossolos que ainda geram discussões, como a formação do gradiente textural, geralmente atribuída à influência de transporte e deposição de material de granulometria mais grosseira em superfície, por apresentar fragmentos de rochas e materiais desarestados em horizontes superiores. Contudo, alguns pesquisadores atribuem esta formação a processos pedogenéticos como a argiluviação, destruição da argila por ferrólise nos horizontes mais superficiais, formação “*in situ*” de argila ou perda seletiva de argila no horizonte A e E (IBRAIMO *et al.*, 2004; PARAHYBA, SANTOS; ROLIM NETO, 2009; PARAHYBA *et al.*, 2010).

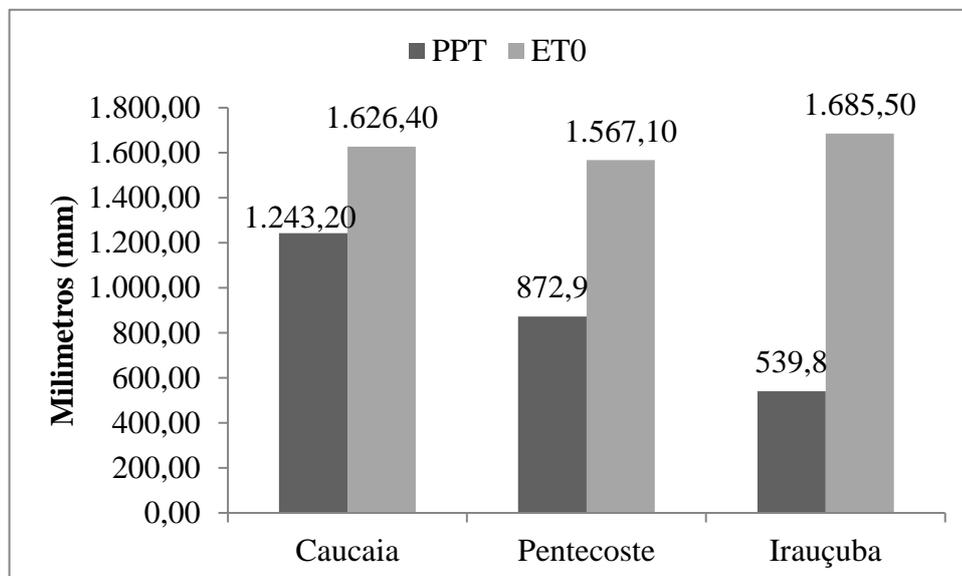
Neste sentido, sabendo-se que a precipitação pluvial é um componente que tem efeitos no desenvolvimento dos solos, pressupõe-se que os Planossolos em diferentes condições de precipitação pluvial: (i) possuem morfologia distinta; (ii) os solos são quimicamente mais pobres, mais ácidos, com maior teor de matéria orgânica com o aumento das precipitações; (iii) a condição de drenagem imperfeita e o relevo (plano a suave ondulado) atuam dificultando a ação do intemperismo, havendo assembleia mineralógica similar, mesmo em diferentes condições climáticas. A partir do exposto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar Planossolos e suas características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas sob diferentes taxas de precipitação pluvial no estado do Ceará.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.2.1 Seleção dos solos e caracterização das áreas de estudo

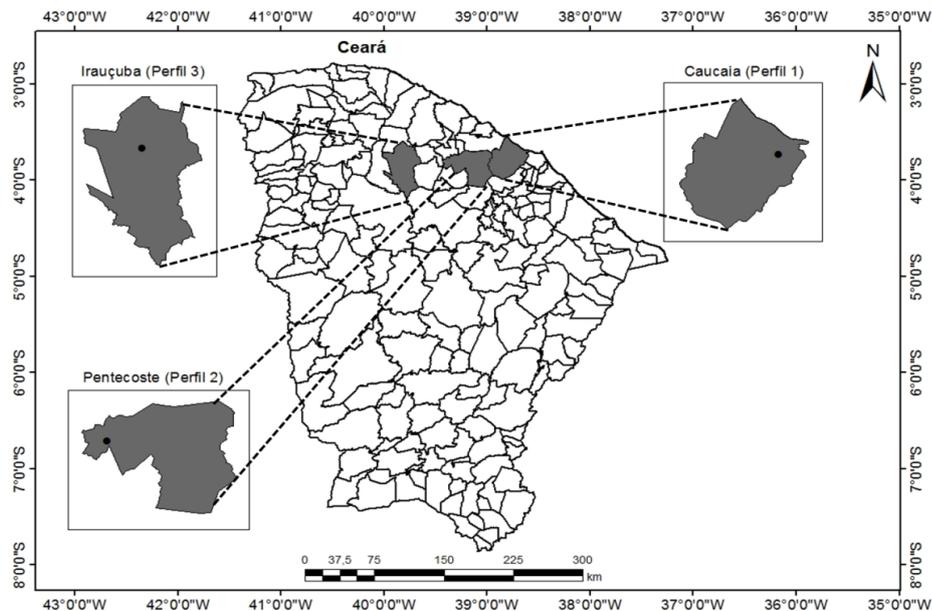
O estudo foi realizado no estado do Ceará, usando-se Planossolos sob diferentes taxas de precipitação pluvial (Figura 1), situados nos municípios de Caucaia (perfil 1), Pentecoste (perfil 2) e Irauçuba (perfil 3) (Figura 2). Estes locais de estudo foram selecionados com base no Levantamento Exploratório e de Reconhecimento de Solos do estado do Ceará (Jacomine *et al.*, 1973), nos dados de precipitação (Figura 1) (DCA, 2015) e nos índices de aridez (FUNCEME, 2015). Posteriormente, foram abertas trincheiras em condições topográficas (relevo local plano e regional plano a suave ondulado) e de material de origem semelhantes (gnaisse). Foi realizada a descrição dos perfis e coleta de amostras com estrutura deformada e indeformada, seguindo a metodologia proposta por Santos *et al.* (2013) e utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos para o enquadramento dos solos (Embrapa, 2013). As áreas onde foram abertas as trincheiras possuem diferentes usos, sendo: pastagem nativa em Caucaia, cultivo de subsistência em Pentecoste e pousio de 13 anos em Irauçuba.

**Figura 1** – Dados de precipitação pluvial média anual (PPT) e evapotranspiração de referência média anual (ET0) para os locais estudados. Fonte: FUNCEME (2015).



Na figura 2 encontra-se a localização dos municípios das trincheiras no estado do Ceará. A altitude local é a seguinte: P1 – 26 m; P2 – 86 m e P3 – 159 m.

**Figura 2** – Mapa do estado do Ceará destacando-se os municípios e a localização das áreas de estudo.



### 3.2.2 Caracterização do município de Caucaia – CE

O município de Caucaia ocupa uma área de 1.227,9 km<sup>2</sup> que representa 0,83 % do estado do Ceará. A sede encontra-se a 20 km da capital, Fortaleza-CE, em linha reta (IPECE, 2014a).

A pluviosidade média anual é de 1.243,2 mm (Figura 1) com base nos registros dos últimos 79 anos, com meses mais chuvosos entre janeiro a junho e temperatura média de 26,9°C (FUNCEME, 2015; DCA, 2015). O índice de aridez com base nos registros dos últimos 38 anos é de 81,0, sendo classificado como sub-úmido úmido (FUNCEME, 2015).

Em Caucaia predominam os solos do tipo Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico, Planossolo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Gleissolo e Vertissolo que fazem parte da bacia hidrográfica metropolitana, com predomínio de áreas plana e suave ondulada e alguns maciços residuais ondulados e forte ondulados. A vegetação típica é a Complexo vegetacional da zona litorânea, Cerrado e Caatinga arbustiva densa (IPECE, 2014a).

### 3.2.3 Caracterização do município de Pentecoste – CE

O município de Pentecoste ocupa uma área de 1.378,30 km<sup>2</sup>, que corresponde a 0,93% do estado do Ceará. A sede encontra-se a 103 km da capital, Fortaleza-CE (IPECE, 2014b).

A pluviosidade média anual é de 872,9 mm (Figura 1) com base nos registros dos últimos 32 anos, concentrada nos meses de janeiro a maio e temperatura média 27°C (FUNCEME, 2015; DCA, 2015).

Em Pentecoste predominam os solos do tipo Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico, Luvisso, Planossolo, Argissolo Vermelho-Amarelo, que fazem parte da bacia hidrográfica do Curu e Metropolitana, com predomínio de áreas planas e suaves onduladas e alguns maciços residuais ondulados e forte ondulados. A vegetação típica da região é formada por Caatinga Arbustiva Densa, Complexo Vegetacional da Zona Litorânea e Floresta Mista Dicotillo-Palmacea (IPECE, 2014b).

### 3.2.4 Caracterização do município de Irauçuba – CE

O município de Irauçuba ocupa uma área de 1.461,22 km<sup>2</sup> que representa 0,98 % do estado do Ceará. A sede encontra-se a 146 km da capital Fortaleza-CE em linha reta (IPECE, 2014c).

Irauçuba possui pluviosidade média anual de 539,8 mm (Figura 1) com base nos registros dos últimos 78 anos, com meses mais chuvosos entre janeiro a maio e temperatura média 25,9°C (FUNCEME, 2015; DCA, 2015). O índice de aridez com base nos registros dos últimos 38 anos é de 26,9, classificado a região como clima semiárido (FUNCEME, 2015).

Na região predominam os Luvisso, Planossolos, Neossolos Litólicos e Argissolos, inseridos em depressões sertanejas e maciços residuais. A vegetação típica é a Catinga Arbustiva Aberta (IPECE, 2014c).

### 3.2.5 Análises químicas e físicas

As análises químicas e físicas dos solos foram realizadas conforme métodos descritos em Embrapa (2011).

As análises químicas consistiram das seguintes determinações:

- pH em água e KCl na proporção de 1:2,5 verificado em potenciômetro;
- Cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e alumínio (Al<sup>3+</sup>) extraídos com KCl 1mol l<sup>-1</sup>, sendo Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> quantificados pelo método complexométrico por titulação com EDTA 0,0125 mol l<sup>-1</sup> e Al<sup>3+</sup> quantificado por titulação com NaOH 0,025 mol l<sup>-1</sup>;

- Potássio ( $K^+$ ) e sódio ( $Na^+$ ) extraídos com Mehlich-1 e quantificados em fotômetro de chama;
- Acidez potencial ( $H+Al$ ) avaliada por extração com acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7,0 e titulado com  $NaOH 0,025 \text{ mol l}^{-1}$ .
- O carbono orgânico foi verificado pelo método da oxidação da matéria orgânica via úmida, com dicromato de potássio em meio sulfúrico.
- No extrato da pasta saturada do solo foi determinada a condutividade elétrica (CE) em condutivímetro.

A partir dos dados das análises químicas, foram obtidos os valores da capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (S), percentual de sódio trocável (PST), saturação de bases (V%), saturação por alumínio (m%) (EMBRAPA, 2011).

As análises físicas consistiram das seguintes determinações:

- Granulometria por tamização para a fração grosseira e pelo método da pipeta para a fração fina, tendo como agente químico dispersante o hexametáfosfato de sódio e agitação rápida em coqueteleira, como dispersor mecânico;
- Argila dispersa em água (ADA) seguiu o mesmo procedimento da granulometria, contudo sem a utilização do agente químico dispersante;
- Densidade do solo ( $D_s$ ) pelo método do anel volumétrico;
- Densidade de partículas ( $D_p$ ) determinada pelo método do balão volumétrico, o qual tem como princípio, determinar o volume de álcool etílico necessário para completar um balão volumétrico de 50ml contendo 20g de solo seco em estufa;
- Grau de floculação (GF) obtido pela razão entre a argila total e a argila dispersa em água;
- Porosidade total (Pt) determinada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partícula (EMBRAPA, 2011).

### 3.2.6 Análises Mineralógicas

As análises mineralógicas por difratometria de raios-X (DRX) foram realizadas na Universidade Federal Rural de Pernambuco em amostras das frações de areia, silte e argila dos horizontes A e B de todos os solos.

Os difratogramas foram obtidos empregando-se difratômetro Shimadzu, operando a uma tensão de 40 kv, com corrente de 20 mA, radiação de  $Cu\alpha$ , com monocromador de grafite. A amplitude de varredura foi de 5 a 70° (2 $\theta$ ) para as amostras de areia, silte e argila sem prévia orientação e uma velocidade de registro respectivamente, de 2° 2 $\theta$  min<sup>-1</sup>, 1,5° 2 $\theta$  min<sup>-1</sup> e 1,25° 2 $\theta$  min<sup>-1</sup>. Para as amostras de argila saturadas com K, Mg e Mg-glicerol, a amplitude de varredura foi de 3 a 35° (2 $\theta$ ) e a velocidade de registro de 1,0° 2 $\theta$  min<sup>-1</sup>.

As amostras de areia, silte e argila natural para análise sem prévia orientação foram montadas em suporte de metal e irradiadas. As amostras de argila natural para análises na forma de microagregados orientados em lâminas de vidro, receberam pré-tratamento para remoção de carbonatos (acetato de sódio 1 mol L<sup>-1</sup> a pH 5,0), matéria orgânica (peróxido de hidrogênio 15%) e óxidos de ferro (citrato-ditionito-bicarbonato), visando a remoção de agentes cimentantes e flocculantes que dificultam a identificação dos minerais (JACKSON, 1975). Posteriormente, para identificar e caracterizar a presença de minerais expansíveis na fração argila, foram realizados os tratamentos com saturação por K, Mg e Mg-glicerol, aquecimentos dos tratamentos com K a 350 e 550°C (JACKSON, 1975).

As interpretações dos difratogramas e identificação dos minerais constituintes das frações areia, silte e argila seguiram os critérios apresentados por Jackson (1975); Brown e Brindley (1980); Moore e Reynolds (1989).

A caracterização morfológica e semiquantitativa da fração areia grossa e fina foi realizada com lupa binocular, utilizando os métodos usuais descritos por Klein, Hurlbut Jr. (1999) e Leinz, Campos (1979), que envolvem: homogeneização e quarteamento das amostras; utilização de microtestes físicos (magnetismo) e químicos (adição de HCl 10% para determinação de carbonatos e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% para determinação de óxido de manganês); e descrição das propriedades físicas e morfológicas. A determinação semiquantitativa dos percentuais dos constituintes minerais das frações areia grossa e fina baseou-se no método de estimativa visual proposto por Terry; Chilingar (1955).

### *3.2.7 Análise da composição química semiquantitativa*

A semiquantificação de elementos totais foi realizada no Laboratório do Núcleo de Estudos em Granitos e Isótopos Estáveis (NEG-LABISE) da Universidade Federal de Pernambuco, em espectrômetro de fluorescência de raios-X modelo FRX Rigaku modelo RIX

3000, com o objetivo principal de utilizar os dados para verificar a possibilidade de descontinuidade litológica.

A análise foi realizada em amostras de argila, dos horizontes A e B. Posteriormente, foram maceradas em almofariz de ágata, secas a 110°C durante 6 horas e realizada a confecção de pastilhas fundidas, utilizando-se tetraborato de lítio como fundente. Os elementos detectados e semiquantificados em forma de óxidos foram:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ .

Com os dados da semiquantificação dos elementos totais foi calculado o índice químico de alteração (CIA). O CIA é calculado pela seguinte equação:  $[\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})] \times 100$  (NESBITT; YOUNG, 1982). O CIA foi utilizado como índice de intemperismo para verificar o grau de desenvolvimento dos Planossolos em diferentes condições de precipitação.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Atributos Morfológicos

Os dados morfológicos dos Planossolos mostram que mesmo sob diferentes condições de precipitação a estrutura do solo é a mesma no horizonte A (blocos subangulares), havendo porém, diferenças em relação ao grau de desenvolvimento e tamanho da estrutura, sendo maior e mais desenvolvida (moderada, média a grande) na condição mais seca (perfil 1) com pluviosidade média anual de 539,8 mm (Tabela 1; Apêndice 1, 2 e 3). O impacto das gotas de água propicia redução do tamanho das unidades estruturais (CAPECHE, 2008), o que deve ter influenciado o menor desenvolvimento das estruturas nos perfis 2 e 3 localizados em condição de maior precipitação, somado também ao fato dos solos destes perfis apresentarem os maiores teores de areia (Tabela 2) que facilita a desagregação da estrutura do solo.

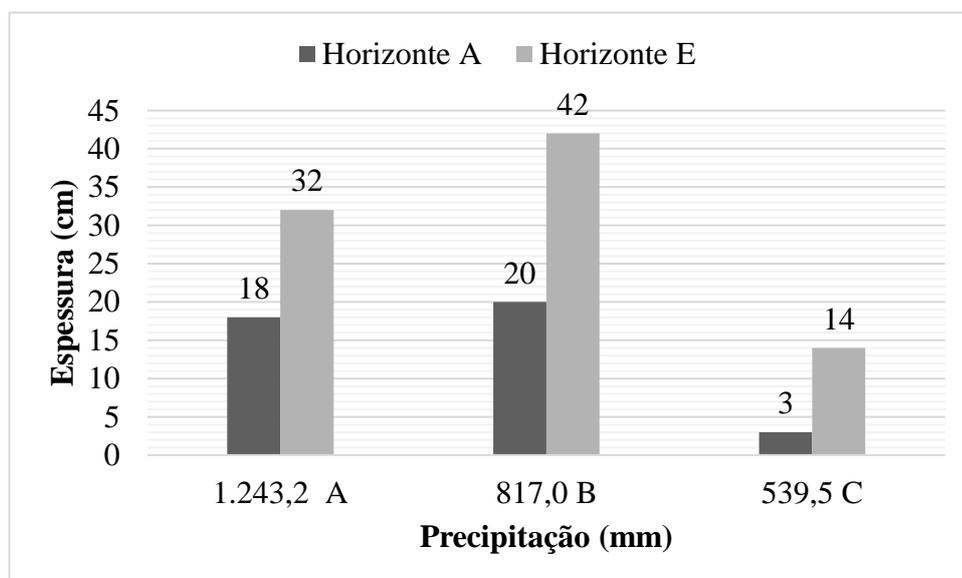
A cor do solo no horizonte A sofreu modificação em função da precipitação pluvial, havendo escurecimento da cor (redução no valor e croma) com o aumento das chuvas, sendo perfil 1 (10YR 3/2) > perfil 2 (2,5Y 4/3) > perfil 3 (2,5YR 5/3) (Tabela 1). Essa modificação de cor nesses horizontes está relacionada com o teor de carbono orgânico no horizonte A, que também é maior com o aumento da precipitação (perfil 1 – 10,3 g kg<sup>-1</sup>; perfil 2 – 3,4 g kg<sup>-1</sup> e perfil 3 – 2,7 g kg<sup>-1</sup>) em virtude de maior aporte de biomassa vegetal ao solo e atuação do processo de melanização, o qual promove o escurecimento do material mineral do solo por adição de matéria orgânica e húmus, em que os compostos húmicos revestem a superfície dos grãos minerais (KÄMPF; CURI, 2012).

Ferreira *et al.* (2016) e Barbosa *et al.* (2015) verificaram resultado semelhante ao presente estudo, constatando redução no valor e croma do solo nos ambientes mais úmidos, relacionando com maior aporte de material orgânico ao solo e ao processo de melanização mais intenso.

No desenvolvimento da espessura do horizonte A não houve grandes modificações em relação ao perfil 1 e 2, havendo uma diferença de somente 2 cm a mais no perfil 2 (Figura 3 e Figura 5). Porém, em comparação ao perfil 3, localizado em uma região com a menor taxa de precipitação média anual (539,8 mm), a diferença é bastante pronunciada, chegando a ser 15 cm menor que o perfil 1 e 17 cm menor em relação ao perfil 2, refletindo a menor taxa de intemperização no perfil 3 em condição maior semiaridez.

O ambiente intermediário de precipitação pluvial verificado na região do perfil 2, favoreceu o desenvolvimento da espessura do horizonte A, que foi 2 cm superior ao perfil 1 que apresenta 426,2 mm de chuva a mais que o perfil 2. Entretanto, verifica-se que nem o excesso do perfil 1 e nem a deficiência de chuvas do perfil 3 foram capazes de favorecer o desenvolvimento do horizonte A, sendo este ambiente de transição, o melhor para a atuação dos processos pedogenéticos envolvidos no espessamento do horizonte A dos Planossolos examinados.

**Figura 3** – Relação entre a taxa de precipitação pluvial e a espessura dos horizontes A e E nos solos estudados (A – perfil 1; B – perfil 2; C – perfil 3).



Entretanto é importante destacar a influência de outros fatores, como a erosão do solo que pode influenciar a espessura dos horizontes, onde no perfil 3 foi observado a presença de sulcos, ravinas e voçorocas (Figura 4). Nesta região (Perfil 3), foi verificado perdas por erosão da ordem de  $11 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em uma microbacia próximo a Irauçuba, (LOPES *et al.*, 2011), enquanto em Pentecoste, região do perfil 2, verificou-se taxa de erosão na ordem de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  (CAVALCANTE e TEIXEIRA, 2005), mostrando a importância da erosão para a espessura dos horizontes.

**Figura 4** – Presença de voçoroca próximo a área da trincheira do perfil 3.



No horizonte E a diferença de espessura é mais pronunciada em todos os ambientes, apresentando 32 cm no perfil 1, 42 cm no perfil 2 e de 14 cm no perfil 3 (Figura 3 e Figura 5). Havendo no ambiente onde o volume de chuva é intermediário (perfil 2) uma condição melhor para o desenvolvimento do horizonte E, similar ao que aconteceu no horizonte A.

A maior presença de mosqueados (20 a 25%) e plintita (7%) no perfil 2, em comparação com os demais perfis (perfil 1 – mosqueado (3% a 7%) e plintita (6%)), revela um ambiente com uma drenagem mais imperfeita, onde a degradação do horizonte Bt permitiu o espessamento do horizonte E, devido as oscilações do lençol freático suspenso gerado pelo acúmulo de água não drenada no período de chuva, em um solo com mudança textural abrupta, elevada densidade e reduzida porosidade total (Tabela 2). Desencadeando o processo de ferrólise, com redução do  $Fe^{3+}$  para  $Fe^{2+}$  e liberação de  $H^+$  na solução do solo. Essa situação leva a destruição de argilominerais e formação de cores acinzentadas como visto no perfil 3 e mosqueados que foram descritos nos perfis 1 e perfil 2 (Tabela 1) (BRINKMAN, 1970; BERG; LEPSCH; SAKAI, 1987; FANNING; FANNING, 1989).

No horizonte B há diferença quanto a estrutura do solo, sendo prismática no perfil 1 e colunar no perfil 3, não sendo possível caracterizar o tipo de estrutura no perfil 2 em função da elevada umidade do solo no dia de coleta e descrição (Tabela 1). É importante destacar que em valores mais elevados de percentual de sódio trocável (PST) (Tabela 3) houve o desenvolvimento de estrutura colunar, como no PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico do perfil 3, devido a dispersão das argilas que favorece a formação do formato mais arredondado dessa estrutura, e com a redução da PST ocorreu o desenvolvimento de estrutura prismática, como no PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico (perfil 1). Estando os valores da PST relacionados com a taxa de precipitação, pois, o sódio trocável no solo que é facilmente lixiviado pela água de drenagem.

**Tabela 1** – Atributos morfológicos de Planossolos em áreas com distintas taxas de precipitação pluvial nos municípios de Caucaia, Pentecoste e Irauçuba (CE).

Hor.	Prof. (cm)	Cor		Estrutura <sup>1</sup>	Consistência <sup>2</sup>	Transição <sup>3</sup>
		Úmida	Mosq.			
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico (Perfil 1 Caucaia - PPT: 1.243,2 mm)</b>						
Ap1	0-6	10YR 3/2	-	fr, pq a md, bsa	fri, lpl, lpg,	cla e pla
Ap2	6-18	10YR 4/2	10YR 6/8	fr, pq a md, bsa	mfri, npl, npg	gra e pla
E1	18-40	10YR 4/3	10YR 6/8	fr, pq, bsa	mfri, npl, npg	gra e pla
E2	40-50	10YR 4/3	10YR 6/8	fr, pq, bsa	so, npl, npg	abr e pla
Btf	50-82+	10YR 4/1	10YR 6/8	mo, gr e pri	frm, mfrm, mpl, mpg	-
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 2 - Pentecoste - PPT: 817,0 mm)</b>						
Ap	0-20	2,5Y 4/3	-	fr, mpq, pq, md, bsa	ldu, mfri, npl, npg	cl e pla
E1	20-39	2,5Y 4/4	-	fr, mo, mpq, pq, mdba	ldu, mfri, npl, npg	gra e pla
E2	39-62	2,5Y 5/6	7,5YR 5/8	mo, pq, md, bsa	du, mfri, npl, npg	cla e irr
Btnf	62-110+	2,5Y 5/4	2,5YR 4/8	-	mdu, frm, pl, pg	-
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 3 - Irauçuba - PPT: 539,5 mm)</b>						
Ap	0-3	2,5YR 5/3	-	mo, md, gr, bsa	ma, ldu, fri, npl, npg	pla e cla
E	3-17	2,5YR 5/4	-	fr, pq, md, bsa	ldu, fri, npl, npg	pla e abr
Btn1	17-25	2,5YR 7/1	-	fo, gr, mgr, co	edu, pl, pg	irr e gra
Btn2	25-50+	2,5YR 6/2	-	fo, mgr, co	edu, mpl, pg	-

1. Fr – fraca, fo – forte, pq – pequena, mpq – muito pequena, md – média, gr – grande, mgr – muito grande, bsa – bloco subangular, mo – moderada, gr – grande, pri – prismática, co – colunar, mc – maciça.

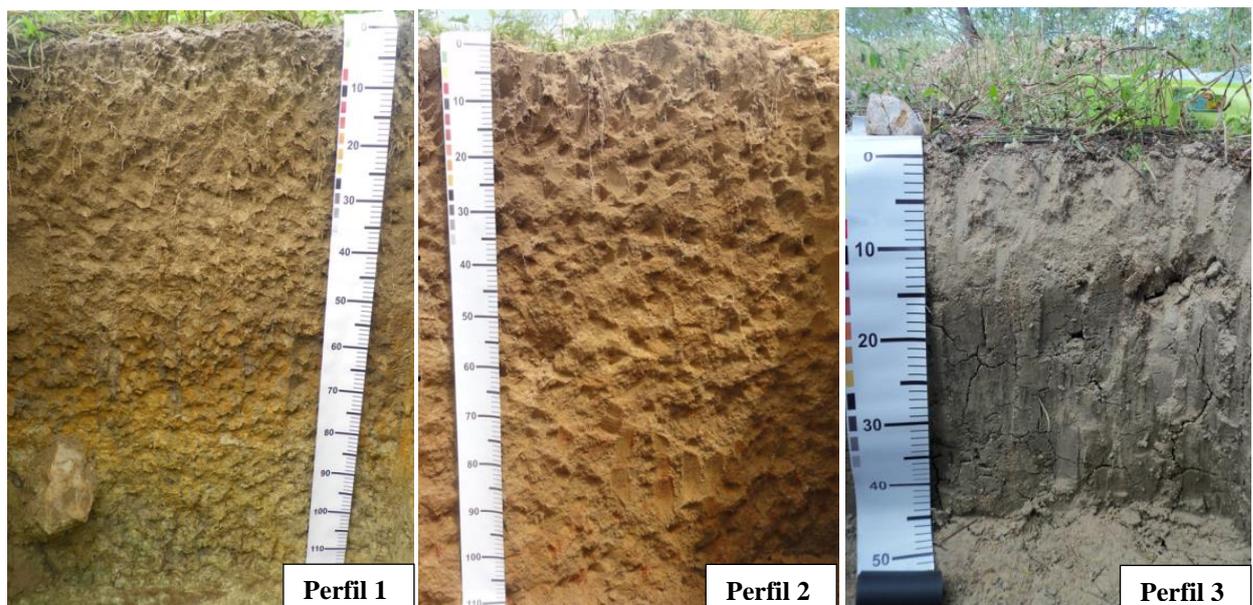
2. ma – macio, fri – friável, mfri – muito friável, so – solto, frm – firme, mfrm – muito firme, ldu – ligeiramente duro, du – duro, mdu – muito duro, edu – extremamente duro, npl – não plástico, pl – plástico, lpl – ligeiramente plástico, mpl – muito plástico, npg – não pegajoso, pg – pegajoso, lpg – ligeiramente pegajoso, mpg – muito pegajoso.

3. cla – clara, gra – gradual, abr – abrupta, pla – plana, ond – ondulada, irr – irregular

Estas estruturas (prismáticas e colunares) estão normalmente relacionadas com a presença de argilas de atividade alta, que apresentam expansão e contração mais acentuadas por efeito dos ciclos de umedecimento e secagem do solo, sendo as do tipo colunar comumente encontradas em solos com elevada saturação por Na<sup>+</sup> como os Planossolos Nátricos (CAPECHE, 2008; RIBEIRO *et al.*, 2012).

Outras características morfológicas não sofreram modificações significativas em função da diferença de precipitação pluvial, havendo similaridade quanto à consistência dos agregados do solo no horizonte A (friável a muito friável), à plasticidade e pegajosidade no horizonte A (não plástico a ligeiramente plástico e não plástico a ligeiramente pegajoso) e B (plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa) e pequenas diferenças que não têm relação com as a diferenças de precipitação pluvial (Tabela 1).

**Figura 5** – Distribuição e classificação dos horizontes do PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico (Perfil 1 – Caucaia); PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 2 – Pentecoste) e PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 3 – Irauçuba) .



### 3.3.2 Atributos físicos

As análises físicas são encontradas na tabela 2, nela pode-se observar que os teores de silte e a relação silte / argila, que pode indicar o estágio de intemperismo dos solos de regiões tropicais (ANJOS *et al.*, 1998), sofrem redução com o aumento da precipitação pluvial, sendo perfil 1 < perfil 2 < perfil 3 (Tabela 2) e, conseqüentemente, indicando um estágio mais avançado de intemperismo na seguinte ordem perfil 1 > perfil 2 > perfil 3 (Tabela 2), coincidindo com a crescente taxa de precipitação pluvial.

Analisando o horizonte B, percebe-se que o perfil 1, em condição climática mais úmida, sofre redução de  $145 \text{ g kg}^{-1}$  no teor de silte em comparação com o perfil 3. O ambiente mais úmido é favorável ao intemperismo dos minerais da fração silte, conseqüentemente

concentrando quartzo na fração areia no solo, fato que em parte justifica a grande concentração de areia no perfil 1. Ferreira *et al.* (2016) e Barbosa *et al.* (2015) verificaram resultado semelhante ao presente estudo, constatando teores de silte mais elevados em todos os solos localizados em condição mais seca.

A análise do teor de argila permite constatar mudança textural abrupta nos solos estudados, sendo mais pronunciada no perfil 1, em que o horizonte E2 tem  $41 \text{ g kg}^{-1}$  de argila e o horizonte Btf com  $385 \text{ g kg}^{-1}$  g (Tabela 2).

A argiluviação é um dos processos responsáveis pela formação do gradiente textural nos Planossolos. Este processo necessita da presença de argila dispersa para que possa ser transportada pelo fluxo de água para o horizonte B (FANNING; FANNING, 1989). Neste sentido, o processo de argiluviação é favorecido nos Planossolos em ambientes com menores precipitações, pois se verifica um aumento nos teores de argila dispersa em água (ADA) com a redução das precipitações, consequentemente, redução do grau de flocculação (GF), criando uma condição propícia a translocação das partículas de argila. Esta condição de argila dispersa é encontrada principalmente nos perfis 2 e 3 que apresentam caráter solódico.

O processo de argiluviação em Planossolos foi comprovado por Ibraimo *et al.* (2004) em observações micromorfológicas, descrevendo forte preenchimento iluvial na forma de fração fina no horizonte Bt, que parece atuar como cimento entre os grãos.

**Tabela 2** – Atributos físicos de três Planossolos em áreas com distintas taxas de precipitação pluvial no estado do Ceará.

Horizontes		AT <sup>1</sup>	.....Granulometria.....					GF <sup>5</sup>	Silte/Argila	Densidade		Pt <sup>9</sup>
Simb.	Prof. ...cm...		AG <sup>2</sup>	AF <sup>3</sup>	Silte	Argila	ADA <sup>4</sup>			Dp <sup>7</sup>	Ds <sup>8</sup>	
		.....g kg <sup>-1</sup> .....					...%...	....Mg m <sup>-3</sup> ....		...%...		
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arenico (Perfil 1 - Caucaia - PPT: 1.243,2 mm)</b>												
Ap1	0-6	860	431	428	82	57	7	86	1,44	2,62	1,56	40
Ap2	6-18	897	605	292	65	37	9	74	1,73	2,59	1,54	40
E1	18-40	949	650	299	24	26	12	54	0,93	2,60	-	
E2	40-50	924	715	208	34	41	20	51	0,84	2,63	1,67	37
Btf	50-82	587	466	120	27	385	103	73	0,07	2,56	1,73	32
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 2 - Pentecoste - PPT: 817,0 mm)</b>												
Ap	0-20	855	411	444	79	65	23	64	1,22	2,66	1,55	42
E1	20-39	844	525	319	77	78	39	49	0,99	2,59	-	-
E2	39-62	820	440	380	80	99	51	49	0,80	2,56	1,62	37
Btnf	62-110+	712	374	338	71	216	111	49	0,33	2,58	1,70	34
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 3 - Irauçuba - PPT: 539,5 mm)</b>												
A	0-3	710	290	420	220	68	18	73	3,21	2,63	1,68	36
E	3-17	749	465	284	190	59	11	80	3,19	2,59	-	
Btn1	17-25	494	366	128	172	333	176	47	0,52	2,62	1,73	34
Btn2	25-50+	447	327	120	193	359	222	38	0,54	2,60	1,72	34

<sup>1</sup> Areia total; <sup>2</sup> areia grossa; <sup>3</sup> areia fina; <sup>4</sup> argila dispersa em água; <sup>5</sup> grau de floclação; <sup>6</sup> valor de uniformidade; <sup>7</sup> densidade da partícula; <sup>8</sup> densidade do solo <sup>9</sup> porosidade total.

A densidade do solo e porosidade total do horizonte B não foram efetivamente modificadas em função da condição climática, continuando os Planossolos com um horizonte B adensado, que é comprovado com os elevados valores de densidade do solo que variam de 1,70 a 1,73 Mg m<sup>-3</sup>, juntamente com os baixos valores de porosidade total no horizonte B de 32%, 34% e 34% respectivamente, nos perfis 1, 2 e 3 (Tabela 2). De acordo com Silva *et al.* (2002) o adensamento subsuperficial em solos do semiárido está relacionado com o processo de argiluviação de partículas dos horizontes A e E para o B, acarretando modificações no empacotamento de partículas ou unidades estruturais.

O adensamento do horizonte Bt dos Planossolos pode ser favorável em alguns casos, pois quando o horizonte B iniciar após 30 cm de profundidade, principalmente em regiões semiáridas, esse adensamento permite armazenar água, que em uma situação de boa drenagem seria perdida. Em caso de um horizonte Bt adensado em pouca profundidade, a drenagem deficiente e a maior resistência mecânica à penetração de raízes irão reduzir a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas (SILVA *et al.*, 2002; REICHARDT; TIMM, 2004).

### 3.3.3 Atributos químicos

A reação do solo (pH em água) é classificada como fortemente ácida para o horizonte A dos perfis 1 e 3 e moderadamente ácida no perfil 2 (Tabela 3). Para o horizonte Bt tem-se uma reação moderadamente ácida no perfil 1, fortemente ácida no perfil 2 e praticamente neutra a moderadamente alcalina no perfil 3 (EMBRAPA, 2009). A acidez potencial (H+Al) é crescente com o aumento da precipitação pluvial, sendo mais elevada no perfil 1 (Tabela 3). Valores de H+Al semelhantes aos observados no perfil 3, localizado em maior condição de semiaridez foram observados em outros Planossolos em região semiárida (CORRÊA *et al.*, 2003; ALVES *et al.*, 2005; ALVES *et al.*, 2007; PARAHYBA *et al.*, 2010; FERREIRA *et al.*, 2016).

Os Planossolos analisados são todos eutróficos, com saturação por base em seu horizonte diagnóstico acima de 50%, com destaque para os elevados teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, que representam 97,4% da soma de bases (valor S) no perfil 1; 82,6% no perfil 2 e 94,6% para o perfil 3 (Tabela 3).

Os valores de pH em água, soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) não apresentam relação direta com o aumento na taxa de precipitação pluvial, sendo P3 > P1 > P2. Entretanto, destaca-se a diferenciação mais

pronunciada no perfil 3, que apresenta os maiores valores de pH em água, S, CTC e V% e está localizado em um clima mais seco, com pluviosidade média anual de 539,8 mm e evapotranspiração de referência média anual de 1.685,5 mm (AB'SABER, 1996; SILVA *et al.*, 2010), que desfavorece a eficiente lixiviação de cátions básicos e permite que este solo continue eutrófico.

É importante observar que o ambiente de precipitação pluvial intermediária, verificado na região do perfil 2, parece favorecer um intemperismo mais efetivo em comparação a uma elevação na precipitação (perfil 1) ou uma redução (perfil 3), pois nesta situação têm-se os menores valores de pH em água, soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%), que se deve à lixiviação dos cátions básicos com os processos de intemperismo e pedogenéticos.

**Tabela 3** – Atributos químicos de três Planossolos em áreas com distintas taxas de precipitação pluvial no estado do Ceará.

Hor.	pH (1:2,5)		Ca <sup>2+</sup>	-----Complexo Sortivo-----						CTC	V	m	PST	C org.	CE
	Água	KCl		Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Valor S						
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico (Perfil 1 - Caucaia - PPT: 1.243,2 mm)</b>															
Ap1	5,3	4,5	2,9	1,9	0,1	0,3	0,3	3,7	5,2	8,9	58	5	1	10,3	0,2
Ap2	5,1	4,0	1,7	0,8	0,1	0,2	0,3	2,1	2,8	4,9	57	10	2	4,4	0,1
E1	5,2	4,1	1,2	0,3	0,1	0,0	0,4	1,6	1,6	3,2	50	20	3	1,0	0,1
E2	5,3	4,1	1,5	1,0	0,1	0,0	0,4	1,6	2,6	4,2	62	13	2	0,8	0,0
Btf	5,6	3,9	6,2	8,8	0,4	0,0	0,4	3,2	15,4	18,6	83	3	2	2,6	0,1
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 2 - Pentecoste - PPT: 817,0 mm)</b>															
Apn	5,8	4,6	1,7	0,5	0,2	0,2	0,3	0,8	2,6	3,4	76	10	6	3,4	0,4
E1	4,5	3,7	0,7	0,2	0,2	0,2	0,8	1,1	1,3	2,4	54	38	8	1,7	0,1
E2	4,6	3,7	0,7	0,2	0,2	0,2	0,9	1,2	1,3	2,5	52	41	8	1,5	0,1
Btnf	4,8	3,8	1,6	0,3	0,2	0,2	0,7	1,0	2,3	3,3	70	23	6	2,8	0,1
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 3 - Irauçuba - PPT: 539,5 mm)</b>															
Apn	5,2	4,1	2,1	2,2	0,8	1,8	0,4	1,7	6,9	8,6	80	5	9	2,7	0,3
E	6,1	4,4	3,0	2,0	0,1	0,3	0,0	1,8	5,4	7,2	75	0	1	1,9	0,1
Btn1	7,1	5,5	9,9	11,1	1,1	0,1	0,0	0,0	22,2	22,2	100	0	5	1,7	0,4
Btn2	7,9	5,6	10,9	11,5	1,5	0,1	0,0	0,0	24,0	24,0	100	0	6	1,1	0,2

Nota: Valor S - soma de bases; CTC - capacidade de troca de cátions; V - saturação por bases; m - saturação por alumínio; PST -percentual de saturação por sódio; C org - carbono orgânico; CE - condutividade elétrica.

Os Planossolos na região Nordeste do Brasil geralmente possuem elevada saturação por bases, semelhante ao verificado no presente trabalho, a exemplo dos Planossolos eutróficos analisados por Corrêa *et al.* (2003), Alves *et al.* (2005), Alves *et al.* (2007), Oliveira *et al.* (2009), Parahyba *et al.* (2010) e Ferreira *et al.* (2016).

Os teores de  $Mg^{2+}$  são superiores aos de  $Ca^{2+}$  nos perfis 1 e 3 no horizonte Bt e também são frequentemente encontrados nos Planossolos de diversas localidades no Nordeste, conforme observado por Jacomine *et al.* (1973; 1975) em Planossolos no estado do Ceará e Alagoas. Fernandes *et al.* (2010) observaram resultado semelhante em Planossolos no estado de Sergipe, enquanto que Parahyba *et al.* (2010) observaram em Pernambuco e Alves *et al.* (2007) na Paraíba. Essa característica está relacionada com a assembleia mineralógica desses solos, com minerais que ao serem intemperizados liberam  $Mg^{2+}$  presente em sua estrutura cristalina, a exemplo do anfibólio, mica e filossilicatos com substituição isomórfica do Al por Mg na camada octaédrica, como a vermiculita e esmectita (MELO; CASTILHO; PINTO, 2009), todos encontrados nos Planossolos avaliados (Tabela 5).

O  $Na^+$  é um importante cátion encontrado nos Planossolos examinados, principalmente nos horizontes subsuperficiais (Tabela 3). O elevado teor de sódio tem como origem a alteração de plagioclásios calco-sódicos, que frequentemente são encontrados em Planossolos, e a adição de soluções ricas em sódio de áreas próximas, conforme verificado por Mota e Oliveira (1999), Galindo *et al.* (2008), Oliveira *et al.* (2008) e Parahyba *et al.* (2010).

As condições climáticas e a deficiência na drenagem favorecem a manutenção de teores elevados de sódio nos Planossolos do semiárido (MOTA; OLIVEIRA, 1999). No presente estudo, o efeito do sódio é mais pronunciado no perfil 3 de Irauçuba, localizado em condição de maior semiaridez em comparação com os demais perfis (Tabela 3). O  $Na^+$  é um cátion de alta solubilidade que pode ser facilmente lixiviado em ambientes com elevadas precipitações, a exemplo do perfil 1, no qual o horizonte Bt possui  $0,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  a menos de sódio que o mesmo horizonte no perfil 3.

Todos os solos analisados foram classificados como Planossolo Háplico (PST foi inferior a 15%). Contudo, os perfis 2 e 3 apresentam  $PST \geq 6\%$ , o que corresponde ao caráter solódico e, assim, são classificados no último nível categórico como solódico (Tabela 3).

A condutividade elétrica (CE) dos solos é baixa no horizonte diagnóstico dos Planossolos, sendo maior no horizonte Bt<sub>n1</sub> do perfil 3 com  $0,37 \text{ dS m}^{-1}$  (Tabela 3), não caracterizando caráter sálico ( $\geq 7 \text{ dS m}^{-1}$ ) ou o caráter salino ( $\geq 4 < 7 \text{ dS m}^{-1}$ ) (EMBRAPA, 2013).

### 3.3.4 Mineralogia das frações areia grossa, areia fina, silte e argila

A assembleia mineralógica por semiquantificação óptica da fração areia grossa, em todos os horizontes dos três Planossolos é formada essencialmente por quartzo (99 a 95%), somente no perfil 3 há maior representatividade de feldspato (2%) (Tabela 5). Outros minerais presentes na fração areia grossa não somaram individualmente 1% e foram incluídos como traços.

Na areia fina o quartzo continua sendo o mineral mais abundante (97 a 95%), porém nesta fração há também a presença de outros minerais primários, como os anfibólios nos perfis 1 e 3; mica nos perfis 2 e 3 e feldspato e epidoto no perfil 3 (Tabela 5). Além da existência de agregados argilosos (perfil 1), manganosos (perfil 3), argilíferos (perfil 1) e manganíferos (perfil 3).

Os grãos na fração areia grossa e fina são predominantemente angulosos a muito angulosos em todos os horizontes dos perfis 1 e 2 e nos horizontes E e Btn do perfil 3. Somente o horizonte Apn do perfil 3 apresenta, em sua maioria, grãos subarredondados a angulosos e subangulosos (Tabela 4). Nos perfis 1 e 2 também há a presença de grãos subarredondados a arredondados, porém em menor quantidade e insuficiente para justificar a presença de algum transporte significativo de material. Desta forma, independente das condições de precipitação dos Planossolos examinados, a morfologia dos grãos da fração areia indica a presença de continuidade litológica.

Na assembleia mineralógica da fração areia total, identificada por DRX, há a presença de minerais não citados na identificação por semiquantificação óptica, pois não somaram individualmente 1%. Neste caso a fração areia total é composta essencialmente por quartzo, anfibólios, feldspatos e mica (Tabela 5), não sendo verificada significativa modificação em função das diferentes taxas de precipitação.

**Tabela 4** – Morfologia dos grãos na fração areia dos Planossolos em áreas com precipitação pluvial distinta no estado do Ceará.

<b>Hor.</b>	<b>Areia Grossa</b>	<b>Areia Fina</b>
<b>PLANOSSOLOS HÁPLICOS Eutrófico arênico (Perfil 1 - Caucaia: 1.243,2 mm)</b>		
Ap	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos. Raros grãos subarredondados a arredondados.	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos. Raros grãos subarredondados a arredondados.
E1	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos. Raros grãos subarredondados a arredondados.	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos. Raros grãos subarredondados a arredondados.
E2	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos. Raros grãos subarredondados a arredondados.	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos. Raros grãos subarredondados a arredondados.
Btf	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos. Raros grãos subarredondados a arredondados.	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos. Raros grãos subarredondados a arredondados.
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 2 - Pentecoste: 817,0 mm)</b>		
Apn	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos.	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos.
E1	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos.	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos.
E2	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos.	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos.
Btnf	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos.	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos.
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 3 - Irauçuba: 539,5 mm)</b>		
Apn	Predominam os grãos subarredondados a subangulosos.	Predominam os grãos subangulosos a angulosos.
E	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos. Raros grãos subarredondados a arredondados.	Predominam os grãos subangulosos a angulosos. Raros grãos arredondados a subarredondados.
Btn1	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos.	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos. Raros grãos subangulosos a subarredondados.
Btn2	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos.	Predominam os grãos angulosos a muito angulosos. Raros grãos subarredondados a arredondados.

**Tabela 5** – Composição mineralógica das frações areia, silte e argila dos Planossolos em áreas com precipitação pluvial distinta no estado do Ceará.

Hor.	Areia Grossa	Areia Fina	Areia	Silte	Argila
	-----Semiquantificação óptica-----			-----DRX-----	
<b>PLANOSSOLOS HÁPLICOS Eutrófico arênico (Perfil 1 - Caucaia: 1.243,2 mm)</b>					
Ap	Qz (99%); traços (1%)	Qz (96%); Anf (2%); traços (2%)	Qz; Fd; Mi; Anf	Qz; Fd; Anf; Ru; Ilm	Ct; Esm; Vm; Fd
Btf	Qz (98%); traços (2%)	Qz (95%); Anf (1%); AgArg e AgArgFer (1%); traços (3%)	Qz; Fd; Anf	Qz; Fd; Anf; Ru; Ilm	Ct; Esm; Fd
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 2 - Pentecoste: 817,0 mm)</b>					
Apn	Qz (98%); traços (2%)	Qz (97%); Mi (1%); traços (2%)	Qz; Fd; Mi; Anf	Qz; Fd; Mi; Ct; Ilm	Ct; Mi; Esm; Vm; Fd
Btnf	Qz (98%); traços (2%)	Qz (96%); Mi (3%); traços (1%)	Qz; Fd; Mi; Anf	Qz; Fd; Mi; Ct; Ru; Ilm	Ct; Mi; Esm; Vm; Fd
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 3 - Irauçuba: 539,5 mm)</b>					
Apn	Qz (95%); Fd (2%); Fr (2%); traços (1%)	Qz (96%); Fd (1%); Mi (1%); Anf e Epi (1%); traços (1%)	Qz; Fd; Mi; Anf	Qz; Fd; Mi; Anf; Ilm	Ct; Mi; Esm; Vm; Fd
Btn1	Qz (96%); Fd (2%); Fr (1%); traços (1%)	Qz (95%); Fd (2%); AgMn e AgMnFe (1%); traços (2%)	Qz; Fd; Mi; Anf	Qz; Fd; Mi; Anf; An; Ilm	Ct; Mi; Esm; Vm; Fd

Qz – quartoz; Fd – feldspato; Mi – micas; Bi – biotita; Mus – muscovita; Anf – anfibólios, Vm – vermiculita; Esm – esmectita; Ilm – ilmenita; Ru – rutilo; An – anatásio; Epi – epidoto; Fr – frsgmento de rocha; AgArg – agregado argiloso; AgArgFer – agregado argiloferroso; AgMn – agregado manganoso; AgMnFe – agregado manganoferroso; traços – frações que individualmente somaram menos de 1 %.

Mota, Oliveira e Gebhardt (2002) e Ferreira *et al.* (2016) encontraram assembleia mineralógica na fração areia de Planossolos similar a presente pesquisa, com a presença de quartzo, feldspato, anfibólio e mica. Parahyba, Santos e Rolim Neto (2009), analisando frações maiores que a do silte em Planossolos, com lupa e microscópio petrográfico nas lâminas delgadas, verificaram que o quartzo, a mica e o feldspato são os principais minerais que constituem a fração grosseira, ocorrendo em menor quantidade anfibólio e traços de zircão, turmalina, rutilo, epidoto e piroxênios. Castilhos *et al.* (2002) identificaram quartzo, plagioclásios, feldspatos de potássio e mica na fração areia de um Planossolo Háplico.

Castro *et al.* (2010), avaliando a reserva e a disponibilidade de nutrientes em alguns solos cultivados com eucalipto, verificaram na fração areia de dois Planossolos Háplicos presença de feldspato, atribuindo a este elemento os elevados valores de Ca e Mg totais e trocáveis, nos horizontes subsuperficiais, similar ao presente trabalho.

A fração silte é similar nos solos estudados, com a presença de quartzo e feldspato. A mica é verificada na assembleia mineralógica dos perfis 2 e 3 e o anfibólio nos perfis 1 e 3. Também foram encontrados vários minerais que são fontes de titânio (Ti) no solo, como a Ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) nos perfis 1, 2 e 3; o rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) nos perfis 1 e 2 e anatásio ( $\text{TiO}_2$ ) nos perfis 1 e 3 (Tabela 5).

O mineral caulinita, geralmente identificado na fração argila, foi constatado na fração silte do perfil 3 (Tabela 5). Mota, Oliveira e Gebhardt (2002) também verificaram caulinita na fração silte de Planossolos no estado do Ceará, relacionando ao intemperismo direto de plagioclásios.

O mineralanfibóliofoi identificado na fração silte dos perfis 1 e 3 e na fração areia de todos os Planossolos estudados (Tabela5). Segundo Melo, Castilho e Pinto (2009), o anfibólio é um inossilicato de cadeia dupla chamado de mineral ferromagnesiano por conter, principalmente, Mg e Fe em suas estruturas, mas pode ter também Ca, Na, Mn, Al, Si e Ti. Na série de Goldich, os anfibólios estão abaixo do feldspato albita (TOLEDO; OLIVEIRA; MELFI, 2009), indicando que os solos estudados possuem um ambiente geoquímico desfavorável a uma intensa intemperização destes minerais. Dessa forma, mesmo na área do perfil 1, que possui as precipitações mais elevadas, não houve intemperização completa dos anfibólios do solo, em função da deficiência na drenagem, comprovada morfologicamente pela presença de mosqueados (Tabela 5).

O feldspato foi identificado nas frações areia, silte e argila dos perfis estudados (Tabela 5), constituindo importante fonte de nutrientes, principalmente  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ,

respectivamente com o feldspato potássico ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) e anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ). Além disso, são fonte de  $\text{Na}^+$  com o mineral albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), representando uma das grandes fontes de sódio nos Planossolos, conforme já identificado por Mota e Oliveira (1999) em Planossolos no estado do Ceará. Segundo Castilhos *et al.* (2002), o feldspato e a mica estão entre os principais minerais fontes de potássio no solo.

O feldspato na fração argila torna-se mais suscetível ao intemperismo, sofrendo hidrólise e dissolução com liberação de cátions na solução do solo. Esses cátions podem ser utilizados na recristalização de minerais de argila do tipo 1:1 (caulinita) e 2:1 (esmectita e vermiculita), minerais estes encontrados nos solos estudados (Tabela 5). A neoformação de caulinita por esta via pode não ser favorável, pois os Planossolos possuem minerais ricos em Na, Ca, Mg, Fe e K e drenagem imperfeita que impede uma eficiente remoção de cátions básicos (MELO; WYPYCH, 2009).

Na assembleia mineralógica da fração argila, os minerais caulinita, esmectita, vermiculita e feldspato são comuns a todos os Planossolos examinados. Nos perfis 2 e 3 há a presença de mica. O perfil 1 possui assembleia mineralógica nas frações silte e argila, sensivelmente diferente dos demais perfis, não apresentando mica nos horizontes. Contudo a mica é identificada na fração areia por DRX, indicando uma provável instabilidade desse mineral nessas frações de menor tamanho (silte e argila), em função das maiores taxas de precipitação pluvial.

A alteração da mica com a perda de  $\text{K}^+$  entre camadas, oxidação do  $\text{Fe}^{2+}$  e reorientação dos OH, leva à formação de vermiculita e, posteriormente, esmectita nos solos, como destacado por Douglas (1989) e Azevedo e Vidal-Torrado (2009).

Mota, Oliveira e Gebhardt (2002) verificaram, por microscopia eletrônica de varredura, vermiculita formada da alteração de biotita e alteração de montmorilonita formando caulinita na fração silte fino de um Planossolo Háplico eutrófico solódico no estado do Ceará.

A mica é um mineral frequentemente encontrado em Planossolos. Castilhos *et al.* (2002), Mota, Oliveira e Gebhardt (2002), Parahyba, Santos e Rolim Neto (2009), Oliveira *et al.* (2008), Parahyba *et al.* (2010) e Ferreira *et al.* (2016) verificaram a presença de mica em Planossolos. Segundo Parahyba *et al.* (2010), a alteração “*in situ*” deste mineral está relacionada ao marcante contraste textural dos Planossolos. Galindo *et al.* (2008) destacaram a presença de mica parcialmente alterada na fração areia grossa e fina dos horizontes superficiais de vários Planossolos do Estado de Pernambuco.

As características da assembleia mineralógica dos solos estudados são típicas de ambiente pouco intemperizado. Segundo Kämpf, Curi e Marques (2009), minerais como feldspato, mica, anfibólio, esmectita e vermiculita são facilmente alterados em solos com boa drenagem, em clima tropical úmido, condições estas que não ocorrem nos locais dos Planossolos analisados e o mesmo permanece com estes minerais.

Os Planossolos do presente trabalho, apesar de estarem em distintas condições de precipitação pluvial, não apresentam grande modificação em sua assembleia mineralógica na fração silte e argila. Possivelmente, a condição de drenagem imperfeita, comprovada pela descrição de mosqueados e plintita, não favoreceram a ação eficiente do intemperismo, possibilitando ambiente com soluções ricas em cátions básicos, alumínio e sílica que pode neoformar argilominerais como a esmectita, vermiculita e caulinita (BORCHARDT, 1989; CORRÊA *et al.* 2003; MELO; WYPYCH, 2009), conforme verificado na fração argila dos Planossolos (Tabela 5).

### 3.3.5 Composição química semiquantitativa

Os teores de silício ( $\text{SiO}_2$ ) são maiores que os de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (Tabela 6), sendo um indicativo de solos pouco intemperizados, que é confirmado também pelos valores de  $K_i > 2$  (OLIVEIRA, 2001) e pelos dados da difratometria de raios-X, com uma assembleia mineralógica com minerais do tipo 2:1, que possuem mais Si que Al na estrutura cristalina, a exemplo da vermiculita e esmectita identificados nos solos estudados (Tabela 5).

O índice químico de alteração (CIA), proposto por Nesbitt e Young (1982), está coerente com a mineralogia dos solos estudados, apresentando valores na ordem de 70 a 85 que, segundo Nesbitt e Young (1982), indicam a presença de materiais esmectíticos e menos intemperizados (Tabela 5). Os valores de CIA dos horizontes diagnósticos de subsuperfície – B, se elevaram com o aumento da precipitação pluvial (Perfil 1 > Perfil 2 > perfil 3) e os valores de  $K_i$  reduzem (Perfil 1 < Perfil 2 < perfil 3), indicando aumento do grau de alteração com o aumento da precipitação.

**Tabela 6** –Valores semiquantitativos, expressos em forma de óxidos, determinados por fluorescência de raios-X (FRX) e Ki e índice químico de alteração (CIA) dos solos estudados.

Hor.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Ki	CIA
-----%-----									
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico (Perfil 1 - Caucaia: 1.243,2 mm)</b>									
<b>Ap</b>	40,0	29,7	11,8	1,5	4,2	0,3	1,4	2,3	77,5
<b>Btf</b>	36,4	25,5	23,8	2,3	4,0	0,2	0,9	2,4	84,7
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 2 - Pentecoste: 817,0 mm)</b>									
<b>Apn</b>	46,8	22,7	8,3	0,9	0,8	1,3	1,9	3,5	67,4
<b>Btnf</b>	41,3	27,3	15,4	1,0	0,3	0,7	1,6	2,6	82,5
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Perfil 3 - Irauçuba: 539,5 mm)</b>									
<b>Apn</b>	44,4	18,6	19,5	2,7	2,7	3,3	1,1	4,0	73,2
<b>Btn1</b>	41,7	23,5	14,6	2,0	0,5	1,1	1,5	3,0	70,0

Os valores de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) são mais elevados nos horizontes diagnósticos de subsuperfície dos perfis 1 e 2, exatamente os que apresentam o sufixo “f” com aproximadamente 6% de plintita no perfil 1 e 7% no perfil 2 (Apêndice 2). Os horizontes A, desses perfis (1 e 2) apresentaram valores mais reduzidos, que se deve ao efeito do processo de ferrólise, devido a oscilação do lençol freático temporário que é formado nos períodos chuvosos, ocorrendo remoção do ferro. A ação mais intensa dos processos de ferrólise, nos perfis 1 e 2, é confirmada pela maior espessura do horizonte E nesses perfis (1 e 2), pois no perfil 3 o horizonte E é menos espesso (Tabela 1). Os maiores valores de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) no horizonte A do perfil 3 é fruto da menor ação de ferrólise, menor capacidade de remoção de cátions deste ambiente semiárido, com baixas precipitações e elevada evaporação de água, possibilitando a permanência de elevada concentração de ferro no solo.

Os valores de titânio (Ti) são usualmente utilizados na identificação de descontinuidade litológica, servindo de comprovação para atestar a presença de material transportado no solo (TSAI; CHEN, 2000; COOPER; VITAL-TORRADO; LEPSCH, 2002). No presente estudo a variação dos dados entre os horizontes ainda é pequena para afirmar a existência de descontinuidade litológica, atestando uma origem autóctone aos solos estudados.

### 3.4 CONCLUSÕES

Os Planossolos apresentaram morfologia distinta nas diferentes condições de precipitação pluvial, principalmente em relação: (i) à cor do solo no horizonte A, que escureceu com o aumento das chuvas; (ii) à espessura dos horizontes A e E, que não apresentou relação direta com o aumento na taxa de precipitação pluvial e (iii) à estrutura do horizonte B, que é prismática no ambiente mais úmido e colunar em uma condição de maior semiaridez.

Os teores de silte e a relação silte / argila indicam um estágio mais avançado de intemperismo com o aumento da precipitação pluvial. A argila dispersa em água aumenta e o grau de floculação reduz com o aumento das chuvas, favorecendo o processo de argiluviação, principalmente nos Planossolos com caráter solódico.

Nos atributos químicos, os valores de pH em água, soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) não apresentam relação direta com o aumento na taxa de precipitação pluvial, mesmo os maiores valores sendo verificados no solo com maior semiaridez.

A condição de drenagem imperfeita, comprovada pela presença de mosqueados e plintita, em áreas com relevo plano a suave ondulado, de modo geral, não favoreceu a ação eficiente do intemperismo, permitindo que a assembleia mineralógica não sofresse efetiva modificação nas diferentes condições de precipitação pluvial, sendo formada essencialmente pelos minerais primários: quartzo, feldspato, mica, anfibólio e secundários: caulinita, esmectita e vermiculita.

## REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A. Domínios morfo-climáticos e solos do Brasil. In: ALVARES V., V.H.; FONTES, L.E.F. e FONTES, M.P.F., eds. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa-MG, SBCS; UFV, DCS, 1996. p. 930.
- ALLEN, B. L.; HAJEK, B. F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. **Mineral in soil environments**. Soil Science Society of America Book Series. Madison, Wisconsin, USA; 1989. p. 1207.
- ALMEIDA, J.A.; KLAMT, E.; KÄMPF, N. Gênese do contraste textural e da degradação do horizonte B de um Podzólico Vermelho-Amarelo da planície costeira do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 221-233, 1997.
- ALVES, A. G. C. *et al.* Caracterização etnopedológica de planossolos utilizados em cerâmica artesanal no agreste paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 379-388, 2005.
- ALVES, A. G. C. *et al.* Sodium-affected alfisols of the agreste region, state of Paraíba, Brazil, as known by potter-farmers and agronomists. **Scientia Agricola**, v.64, n.5, p. 495-505, 2007.
- ANJOS, L.H. *et al.* Landscape and pedogenesis of an Oxisol-Inceptisol-ultisol sequence in Southeastern Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 1651-1658, 1998.
- ARAÚJO FILHO, J. C. *et al.* **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa; 11), 2000. 382p.
- AZEVEDO, A.C.; VIDAL-TORRADO, P. Esmeclita, vermiculita, minerais com hidróxientrecamadas e clorita. In: MELO, V. F. & ALLEONI, L. R. F., eds. **Química e Mineralogia do Solo: Parte 1 - conceitos básicos e aplicações**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 381-426.
- BARBOSA, W. R. *et al.* Effects of slope orientation on pedogenesis of altimontane soils from the Brazilian semi-arid region (Baturité massif, Ceará). **Environmental Earth Sciences**, v.73, p. 3731–3743, 2015.
- BERG, M.V.D.; LEPSCH, I. F.; SAKAI, E. Solos de planícies aluviais do vale do rio ribeira de Iguape, SP - II Relações entre características físicas e química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 315-321, 1987.
- BORCHARDT, G. Smectites. In: DIXON, J. B. & WEED, S.B., eds. **Minerals in soil environments**. 2ª ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p. 675-728.
- BORTOLUZZI, E. C.; PERNES, M.; TESSIER, D. Mineralogia de partículas envolvidas na formação de gradiente textural em um Argissolo subtropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 997-1007, 2008.

BRINKMAN, R. Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. **Geoderma**, v. 3, p. 199-206, 1970.

BROWN, G.; BRINDLEY, G.W. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: BROWN, G.; BRINDLEY, G.W., eds. **Crystal structures of clay minerals and X-ray identification**. London: Mineralogical Society, 1980. p. 305-360.

CAPECHE, C. L. **Noções sobre tipos de estruturas do solo e sua importância para o manejo conservacionista**. Comunicado técnico 51, Embrapa, 2008. 6p.

CASTILHOS, R.M.V. *et al.* Mineralogia e fontes de potássio em solos no Rio Grande do Sul cultivados com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 579-587, 2002.

CASTRO, P.P. *et al.* Química e mineralogia de solos cultivados com Eucalipto (*Eucalyptus* sp.). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.88, p. 645-657, 2010.

CAVALCANTE, S. P. P.; TEIXEIRA, A. S. Avaliação espacial da erosão através do uso de SIG -Sistemas de Informações Geográficas. **Revista de Tecnologia**, Fortaleza, v.2, p. 186-195, 2005.

COOPER, M.; VITAL-TORRADO, P. e LEPSCH, I.F. Stratigraphical discontinuities, tropical landscape evolution and soil distribution relationships in a case study in SE-Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 673-683, 2002.

CORRÊA, M.M. *et al.* Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Souza (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 311-324, 2003.

CUNHA, T.J.F. *et al.* Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SÁ, I.B. e SILVA, P.C.G., eds. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, 2010. 402p.

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – DCA. Dados Climatológicos do Estado do Ceará. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Disponível em: <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/dadosce.htm>>. Acessado em: 05/05/2015.

DOUGLAS, L. A. Vermiculites. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. **Minerals in soil environments**. 2ª ed. Madison, Soil Scienc Society of America; 1989. p. 635-674.

EGLI M. *et al.* Effect of north and south exposure on organic matter in high Alpine soils. **Geoderma**, v. 149, p. 124–136, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª ed. rev. Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília-DF, EMBRAPA, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Brasília-DF, EMBRAPA, 2009. 359p.

FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. **Soil, morphology, genesis and classification**. New York, John Wiley Sons, 1989. 395p.

FAO. IUSS Working Group WRB. 2006. **World reference base for soil resources**. World Soil Resources Reports N°. 103. FAO, Roma. 2006.

FERNANDES, L.A.C. *et al.* Caracterização e classificação de solos de uma litotoposseqüência do Projeto Xingó-SE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, p. 192-201, 2010.

FERREIRA, J. T. P. *et al.* Planosols Developed in Different Geoenvironmental Conditions in Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-18, 2016.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas>>. Acessado em: 05/05/2015.

GALINDO, I.C.D. L. *et al.* Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no Município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1283-1296, 2008.

IBRAIMO, M.M. *et al.* Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (caatinga) na região dos Lagos (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 695-712, 2004.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. **Perfil Básico Municipal de Caucaia**. Fortaleza-CE, 18p. 2014a.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. **Perfil Básico Municipal de Pentecoste**. Fortaleza-CE, 18p. 2014b.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. **Perfil Básico Municipal de Irauçuba**. Fortaleza-CE, 18p. 2014c.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis: Advanced course**. 29.ed. Madison, 1975. 895p.

JACOMINE, P.K.T. Solos sob Caatinga: características e uso agrícola no semiárido brasileiro. In. ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996. p.95-133.

JACOMINE, P. K. T. *et al.* **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará**. Recife, Ministério da Agricultura/Sudene, 1973, 503p.

JACOMINE, P. K. T. *et al.* **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do estado de Alagoas**. Recife, Embrapa /Sudene (Boletim Técnico, 35; Série Recursos de Solos, 5); 1975, 532p.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N. *et al.* eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2003. v. 3, p.1-54.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H. e SCHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.107-138.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J.J. Intemperismo e ocorrências de minerais no ambiente do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F., eds. **Química e mineralogia do solo: Parte 1 – Conceitos básicos**. Viçosa, MG, SBCS, 2009. p.333-379.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J.C. *et al.* **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: SBCS; 2012. p.207-302.

KER, J.C. Latossolos do Brasil: Uma revisão. **Geonomos**, v. 5, p. 17-40, 1997.

KLEIN, C.; HURLBUT Jr., C.S. **Manual of mineralogy**. 21<sup>a</sup> ed. New York, Jonh Wiley & Sons, 1999. 681p.

LEINZ, V.; CAMPOS, J.E.S. **Guia para determinação de minerais**. 8<sup>a</sup> ed. São Paulo, Nacional, 1979. 149p.

LIMA, C.L.R. *et al.* Compactação de um Planossolo em função de sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, p. 179-182, 2006.

LIMA, C.L.R. *et al.* Atributos físicos de um Planossolo háplico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1849-1855, 2008.

LOPES, F.B. *et al.* Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 2, p. 88-96, 2011.

MAFRA, A. L. *et al.* Pedogênese de uma seqüência de solos desenvolvidos de arenito na região de Piracicaba (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2001; 25:355-369.

MEDEIROS, P.S.C. *et al.* Caracterização e classificação de solos graníticos em toposseqüência na região Sul do Brasil. **Revista Ciência Rural**, v.43, p. 1210-1217, 2013.

MELO, V. F.; CASTILHO, R. M. V.; PINTO, L. F. S. Reserva mineral do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, R. F. **Química e Mineralogia do Solo: Parte I – conceitos básicos**. Viçosa: SBCS, 2009. p.251-332.

MELO, V.F. WYPYCH, F. Caulinita e Haloisita. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F., eds. **Química e Mineralogia do Solo: Parte I – conceitos básicos**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.427-504.

MICHELON, C. R. *et al.* Causes of morphological discontinuities in soils of Depressao Central, Rio Grande do Sul State, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 319-326, 2010.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R.C. **X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals**. New York: Oxford Univ Pr.; 1989. 332p.

MOTA, F.O.B.; OLIVEIRA, J.B. Mineralogia de solos com excesso de sódio no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.799-806, 1999.

MOTA, F.O.B.; OLIVEIRA, J.B.; GEBHARDT, H. Mineralogia de um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e de um Planossolo Háptico eutrófico solódico numa topossequência de gnaiss no sertão central do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p. 607-618, 2002.

OLIVEIRA, J. B. Pedologia aplicada. Jaboticabal - SP: FUNEP-UNESP; 2001. 414 .

OLIVEIRA, L.B. *et al.* Micromorfologia e gênese de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2407-2423, 2008.

OLIVEIRA, L.B.; FONTES, M.P.F.; RIBEIRO, M.R. e 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, p. 1333-1345, 2009.

OYAMA, M.D.; NOBRE, C.A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 30, p. 2199–2203, 2003.

PARAHYBA, R.D.B.V.; SANTOS, M.C.D.; ROLIM NETO, F.C. Evolução quantitativa de Planossolos do agreste do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 991-999, 2009.

PARAHYBA, R.D.B.V. *et al.* Pedogênese de Planossolos em topossequência do agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1991-2000, 2010.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri-SP: Manole, 2004. 478p.

RIBEIRO, M.R.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GALINDO, I.C.L. Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro. In: RIBEIRO, M.R. *et al.* eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa-MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2009. p.413-454.

RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. Caracterização morfológica do solo. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER C. E. G. R.; TORRADO, P. V. editores. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2012. p.207-302.

SANTOS, R.D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 100p.

SCHAETZL, R. Lithologic discontinuities in some soils on drumlins theory, detection, and application. **Soil Science**, v. 163, p. 570-590, 1998.

SCHAETZL, R. J.; ANDERSON, S. **Soils: Genesis and Geomorphology**. Cambridge University Press, New York, 2005. 833p.

SILVA, M.S.L.D. *et al.* Adensamento subsuperficial em solos do semiárido: processos geológicos e/ou pedogenéticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 314-320, 2002.

SILVA, P.C.G. *et al.* Caracterização do semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SÁ, I.B.; SILVA, P.C.G., eds. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina-PE, Embrapa Semiárido, 2010. 402p.

TERRY, R.D.; CHILINGAR, G.V. Comparison charts for visual estimation of percentage composition. **Journal of Sedim. Petrol.**, vol. 25, p. 229-234, 1955.

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B. e MELFI, A.J. Da rocha ao solo: intemperismo e pedogênese. In: TEIXEIRA, W. *et al.* eds. **Decifrando a Terra**. 2ª ed. São Paulo, Companhia editora nacional; 2009. 623p.

TSAI, C.C.; CHEN, Z.S. Lithologic discontinuities in ultisols along a toposequence in Taiwan. **Soil Science**, v. 167, p. 587-596, 2000.

ZARCHA, M.A.A.; SIVAKUMARA, B.; SHARMA, A. Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI). **Journal of Hydrology**, v. 526, p. 183–195, 2015.

## APÊNDICE 1 – DESCRIÇÃO DO PERFIL 1

**PERFIL 1** – Caucaia

**DATA:**18/07/2013.

**CLASSIFICAÇÃO:** PLANOSSOLO HÁPLICOS Eutrófico arênico, textura arenosa/média, A moderado, fase carnaúba, relevo plano.

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:** Centro de Ensino e Treinamento em Extensão (Cetrex/Ematerce), Caucaia – CE, coordenadas S 3° 44' 22,6" W 38° 41' 5,7" (Datum WGS 84), altitude de 26 m.

**SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:** Relevo plano com declividade entre 1 a 2%, sob pastagem natural e plantada.

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA:** Pré-Cambriano Indiviso. Gnaisse.

**MATERIAL DE ORIGEM:** Saprolito do gnaisse com delgada cobertura de material pedimentar.

**PEDREGOSIDADE:** Não pedregoso.

**ROCHOSIDADE:** Não rochoso.

**RELEVO REGIONAL:** Suave ondulado.

**RELEVO LOCAL:** Plano.

**EROSÃO:** Laminar ligeira.

**DRENAGEM:** Imperfeitamente a mal drenado

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Carnaúba

**USO ATUAL:** Pastagem.

**DESCRITO E COLETADO POR:** Ricardo Espíndola Romero e José Thales Pantaleão Ferreira.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap1 0-6 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido); franco arenoso; fraca, pequena a média, blocos subangulares; friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Ap2 6-18 cm; bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2 úmido); mosqueado comum, pequeno, proeminente (10YR 6/8 úmido); areia franca; fraca, pequena a média, blocos subangulares; muito friável, não plástico, não pegajoso; transição gradual e plana.

E1 18-40 cm; bruno (10YR 4/3 úmido); mosqueado comum, pequeno, proeminente (10YR 6/8 úmido); areia; fraca, pequena, blocos subangulares; muito friável, não plástico, não pegajoso; transição gradual e plana.

- E2 40-50 cm; bruno (10YR 4/3 úmido); mosqueado comum, médio, proeminente (10YR 6/8 úmido); areia; fraca. Pequena, blocos subangulares; solto, não plástico, não pegajoso; transição abrupta e plana.
- Btf 50-82 cm cinzento-escuro (10YR 4/1 úmido); franco argiloso; moderada, grande prismática; firme e muito firme, muito plástico, muito pegajoso; transição clara e ondulada.
- BC 82-120+ cm; cinzento-escuro (10YR 4/1 úmido); franco argilo-siltoso; maciço com tendência a prismático, pequena; firme; plástico, pegajoso.

### **OBSERVAÇÕES:**

Perfil descrito úmido

Trincheira aberta no terço inferior da vertente

Presença de raízes médias e finas no horizonte Ap1

Presença de matações e cascalho na transição do horizonte Btf para o BC

Presença de material de cor escura e esverdeada no horizonte BC

Presença de seixos no topo do horizonte Btf

Mosqueado ~ 7% no horizonte Ap2; ~ 5% no horizonte E1; ~8% no horizonte E2; ~ 3% no horizonte Btf

Plintita ~ 6

## APÊNDICE 2 – DESCRIÇÃO DO PERFIL 2

**PERFIL 2** – Pentecoste

**DATA:** 11/04/2013.

**CLASSIFICAÇÃO:** PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico, textura média (leve) / média, A moderado, fase caatinga hipoxerófila, relevo plano.

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:** Fazenda Experimental da UFC, Vale do Curu, Município de Pentecoste - CE, coordenadas S 3° 49' 9,0'' W 9° 21' 21,5'' (Datum WGS 84), altitude de 86 m.

**SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:** Relevo plano com declividade entre 1 a 2%, sob cultura de mamona.

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA:** Pré-Cambriano. Gnaisse.

**MATERIAL DE ORIGEM:** Saprolito de gnaisse

**PEDREGOSIDADE:** Não pedregoso.

**ROCHOSIDADE:** Não rochoso.

**RELEVO REGIONAL:** Suave ondulado.

**RELEVO LOCAL:** Plano.

**EROSÃO:** Laminar ligeira.

**DRENAGEM:** Imperfeitamente drenado

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Caatinga hipoxerófila.

**USO ATUAL:** Cultivo de subsistência

**DESCRITO POR:** Ricardo Espíndola Romero, Mirian Cristina Gomes Costa, Juciane Maria Santos Sousa.

**COLETADO POR:** José Thales Pantaleão Ferreira e Juciane Maria Santos Sousa.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0-20 cm; bruno-oliváceo (2,5Y 4/3, úmido), (10YR 6/4, seco) areia; fraca, muito pequena, pequena e média, blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição clara e plana.

E1 20-39 cm; bruno-oliváceo (2,5Y 4/4, úmido); areia franca; fraca e moderada, muito pequena, pequena e média, blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição gradual e plana.

E2 39-62 cm; bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/6, úmido), mosqueado comum, pequeno/médio e proeminente bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido); areia franca; moderada, pequena e média, blocos subangulares; duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição clara e irregular.

Btf 62-110+ cm; bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/4, úmido), mosqueado abundante, grande e proeminente vermelho (2,5YR 4/8, úmido); franco-argilo-arenosa; muito duro, firme, plástica e pegajosa.

### OBSERVAÇÕES:

Perfil descrito úmido.

Quantidade de raízes comum no horizonte A, poucas no E1 e raras no E2.

Presença de carvão até aproximadamente 20 cm.

Cor do solo seco e estrutura determinadas no laboratório.

Horizonte E2 com espessura de 20 a 49 cm.

Mosqueados ~ 20 a 25%.

Plintita ~ 7%.

### APÊNDICE 3 – DESCRIÇÃO DO PERFIL 3

**PERFIL 3** – Irauçuba

**DATA:**18/03/2013.

**CLASSIFICAÇÃO:** PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico, textura média (leve) / média, A fraco, fase caatinga hipoxerófila, relevo plano.

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:** Fazenda Cacimba Salgada, lado esquerdo da CE 222, Município de Irauçuba – CE, coordenadas S 3° 46' 40,6'' W39° 49' 47,6'' (Datum WGS 84).

**SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:** Relevo plano com declividade entre 1 a 2%, sob pastagem natural.

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA:** Pré-Cambriano Indiviso. Gnaisse.

**MATERIAL DE ORIGEM:** Saprolito do gnaisse

**PEDREGOSIDADE:** Não pedregoso.

**ROCHOSIDADE:** Não rochoso.

**RELEVO REGIONAL:** Suave ondulado.

**RELEVO LOCAL:** Plano.

**EROSÃO:** Laminar ligeira.

**DRENAGEM:** Imperfeitamente a mal drenado

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Caatinga Hipoxerófila

**USO ATUAL:** Pousio

**DESCRITO E COLETADO POR:** Ricardo Espíndola Romero e José Thales Pantaleão Ferreira.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0-3 cm; bruno-avermelhado (2,5YR 5/3); franco arenosa; moderada, média, grande, blocos subangulares; macio, ligeiramente duro, friável, não plástico, não pegajoso; transição plana e clara.
- E 3-17 cm; bruno-avermelhado (2,5YR 5/4); franco arenosa; fraca, pequena, média, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, não plástico, não pegajosa; transição plana e abrupta.
- Btn1 17-25 cm; cinzento-avermelhado-claro (2,5YR 7/1); franco argilo-arenosa; forte, grande e muito grande, colunar; extremamente duro, plástico, pegajoso; transição irregular e gradual.
- Btn2 25-50+ cm; vermelho-claro-acinzentado (2,5YR 6/2); franco arenosa; forte, muito grande, colunar; extremamente duro, muito plástico, pegajoso; transição irregular e gradual.

#### OBSERVAÇÕES:

Perfil descrito úmido. Presença de raízes médias e finas no horizonte Ap. Presença de seixos e cascalho no topo do horizonte Btf.

#### 4. EFEITO DO POUSIO DE 13 ANOS EM ÁREAS SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO EM IRAUÇUBA-CE

##### RESUMO

A desertificação no semiárido está associada à deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e à destruição da vegetação por períodos prolongados. Uma forma tradicionalmente utilizada no combate ao processo de degradação é a utilização de pousio. Contudo, apesar dos benefícios, pouco se conhece sobre os efeitos do pousio em áreas em processo de desertificação no semiárido. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da prática de 13 anos de pousio nos atributos químicos, físicos, mineralógicos e nos compartimentos do carbono orgânico do solo, comparando-se os resultados em relação à prática de sobrepastejo em área sobre processo de desertificação. Para tanto foram utilizadas duas áreas com 13 anos de pousio e duas áreas em sobrepastejo, todas localizadas no núcleo de desertificação de Irauçuba, no estado do Ceará. Nestas áreas foram abertas quatro mintrincheiras para coleta de amostras de solo no horizonte A. Os materiais coletados com estrutura deformada e indeformada foram utilizados para análises químicas, físicas, mineralógicas do solo e o fracionamento físico do carbono orgânico do solo. Os resultados mostram que a prática de pousio está protegendo o solo contra o avanço do processo de desertificação, apresentando melhores resultados em seus atributos físicos e químicos em relação ao sobrepastejo. Os maiores valores de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais foram verificados nas áreas em pousio. As áreas em sobrepastejo estão se tornando arenizadas com a perda de areia fina, silte e argila e quimicamente pobres. O manejo de 13 anos com pousio não alterou a assembleia mineralógica das frações areia, silte e argila em comparação com o sobrepastejo. Os minerais esmectita, vermiculita e mica são os principais responsáveis pela estabilização do carbono orgânico associado aos minerais. As áreas ainda estão em processo de recuperação, sendo importante manter o monitoramento dos atributos do solo para entender a dinâmica da recuperação das áreas em processo de desertificação.

**Palavras-Chave:** sobrepastejo. semiárido. degradação.

## ABSTRACT

Desertification in the semiarid is associated with deterioration of the physical, chemical and biological properties of the soil and the destruction of vegetation for prolonged periods. One way traditionally used in combating the degradation process is the use of fallow. However, despite the benefits, little is known about the effects of set-aside in areas in the process of desertification in the semiarid. In this sense, the present study had as objective to evaluate the effect of the practice of 13 years of fallow on the chemical, physical, mineralogical attributes and compartments of soil organic carbon, comparing the results in relation to the practice of overgrazing in area over process Of desertification. Two areas with 13 years of fallow and two areas in an overpass were used, all located in the desertification nucleus of Irauçuba, in the state of Ceará. In these areas, four mini-trenches were used to collect soil samples in horizon A. The materials collected with deformed and undisturbed structure were used for chemical, physical, mineralogical analyzes of the soil and physical fractionation of the soil organic carbon. The results show that fallow practice is protecting the soil against the advance of the desertification process, presenting better results in its physical and chemical attributes in relation to the overgrazing. The highest values of total organic carbon, particulate organic carbon and organic carbon associated with minerals were verified in fallow areas. The overcrowded areas are becoming sandblasted with the loss of fine sand, silt and clay and chemically poor. The management of 13 years fallow did not alter the mineralogical assembly of the sand, silt and clay fractions in comparison to the overgrazing. Minerals smectite, vermiculite and mica are the main responsible for the stabilization of organic carbon associated with minerals. The areas are still in the process of recovery, and it is important to keep track of the soil attributes to understand the dynamics of the recovery of the areas in the desertification process.

**Keywords:** overgrazing. semi-arid. degradation.

## 4.1 INTRODUÇÃO

No mundo há, aproximadamente, 1 bilhão de hectares de terras em processo de desertificação e outros 3,2 bilhões ha suscetíveis ao processo de desertificação, em que vivem mais de 700 milhões pessoas (RADNAEV; MIKHEEVA, 2011). Na América Latina e Caribe, a desertificação tem adquirido dimensões ambientais e sociais importantes (QUEZADA; SANTIBÁNEZ-VARNERO, 2009). No Brasil, o processo de desertificação atinge principalmente áreas no semiárido, afetando aproximadamente 900.000 km<sup>2</sup>, não existindo no território nacional outro problema ambiental que atinja tamanha área (UNCCD, 1998).

A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, em seu primeiro artigo, define o termo desertificação como sendo “a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas” (UNCCD, 1998).

A degradação nas áreas de clima seco, frequentemente, inicia com o uso agrícola de terras em zonas ecologicamente frágeis. A capacidade de suporte agrícola e pecuária destas áreas geralmente é baixa e, quando excedidas, desencadeia processos de degradação dos solos, provocando erosão, compactação, encrostamento superficial, alteração da estrutura, redução da disponibilidade hídrica, perda de nutrientes e perda de matéria orgânica, reduzindo a produção de fitomassa, tendo como resultado final uma degradação acelerada (RIBEIRO *et al.*, 2009).

Segundo Pachêco, Freire e Borges (2006), o fenômeno da desertificação no semiárido se inicia com a exploração crescente da cobertura vegetal para suprir, essencialmente, demandas energéticas (carvão vegetal) ou aberturas de novas áreas para pastagem. A partir deste desmatamento, como as chuvas são distribuídas num tempo curto (aproximadamente 4 meses) e são irregulares e torrenciais, começa a erosão nessas áreas, que por sua vez causa a diminuição da capacidade de retenção de água pelos solos e a consequente redução da produção de biomassa vegetal.

Um meio de reverter à degradação ambiental é recorrer à prática de pousio da área, para promover a restauração das condições ambientais de forma espontânea e regenerar o ambiente degradado de forma econômica. Porém, o tempo de restauração varia com o grau de degradação ao qual o solo foi submetido (LAMB *et al.*, 2005).

O pousio é uma área fechada para evitar a utilização agrícola e entrada de animais domésticos, com o objetivo de promover a regeneração natural das plantas e reduzir a degradação do solo (MEKURIA *et al.*, 2011). Segundo Descheemaeker *et al.* (2006), geralmente são áreas em terrenos íngremes, erodidos e degradados que foram utilizados para pastejo de animais.

A utilização do pousio permite a recomposição da vegetação natural em áreas degradadas, aumentando a diversidade vegetal (JEDDI; CHAIEB, 2010). O processo de recomposição da vegetação se inicia com a rápida recuperação de espécies herbáceas e depois das espécies arbustivas e arbóreas (ASSEFA *et al.*, 2003; YAYNESHET; EIK; MOE, 2009), ocorrendo conseqüentemente aumento na taxa de deposição de biomassa vegetal ao solo.

Vários estudos com a implantação de pousio reportam o aumento no teor de cálcio, magnésio, potássio, nitrogênio, fósforo e carbono orgânico no solo, a exemplo dos trabalhos de Reeder e Schuman (2002), Descheemaeker *et al.* (2006), Huang; Wang e Wu (2007), Mekuria *et al.* (2007) e Mekuria (2013). O aumento nesses teores está relacionado ao incremento na biomassa vegetal das áreas de pousio (EBRO; SNYMAN; SMIT, 2007; YIMER; LEDIN; ABDELKADIR, 2007).

Os atributos físicos do solo também sofrem alterações com a implantação do pousio em áreas degradadas, ocorrendo aumento da porosidade e redução da densidade do solo, assim como, incremento na infiltração da água no solo e diminuição das taxas de escoamento superficial e de perda do solo (CASTELLANO; VALONE, 2007; PEI, FU; WAN, 2008; JEDDI; CHAIEB, 2010; SOUSA *et al.*, 2012; ALMEIDA, OLIVEIRA E ARAÚJO, 2012).

Assim, aventaram-se as seguintes hipóteses: (i) a prática de pousio protege o solo contra o avanço do processo de desertificação, melhorando os atributos químicos e físicos do solo; (ii) o sobrepastejo e pousio possuem assembleia mineralógica similar e (iii) no fracionamento físico da matéria orgânica há predomínio do carbono orgânico associado aos minerais, que é o mais estabilizado e recalcitrante.

Apesar de haver diversas pesquisas mostrando os benefícios da utilização do pousio na recuperação de áreas degradadas, estudos de longo prazo em áreas sobre processo de desertificação no semiárido brasileiro são escassos. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da prática de 13 anos de pousio nos atributos químicos, físicos, mineralógicos e nos compartimentos do carbono orgânico em relação à prática de sobrepastejo em área sobre processo de desertificação.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

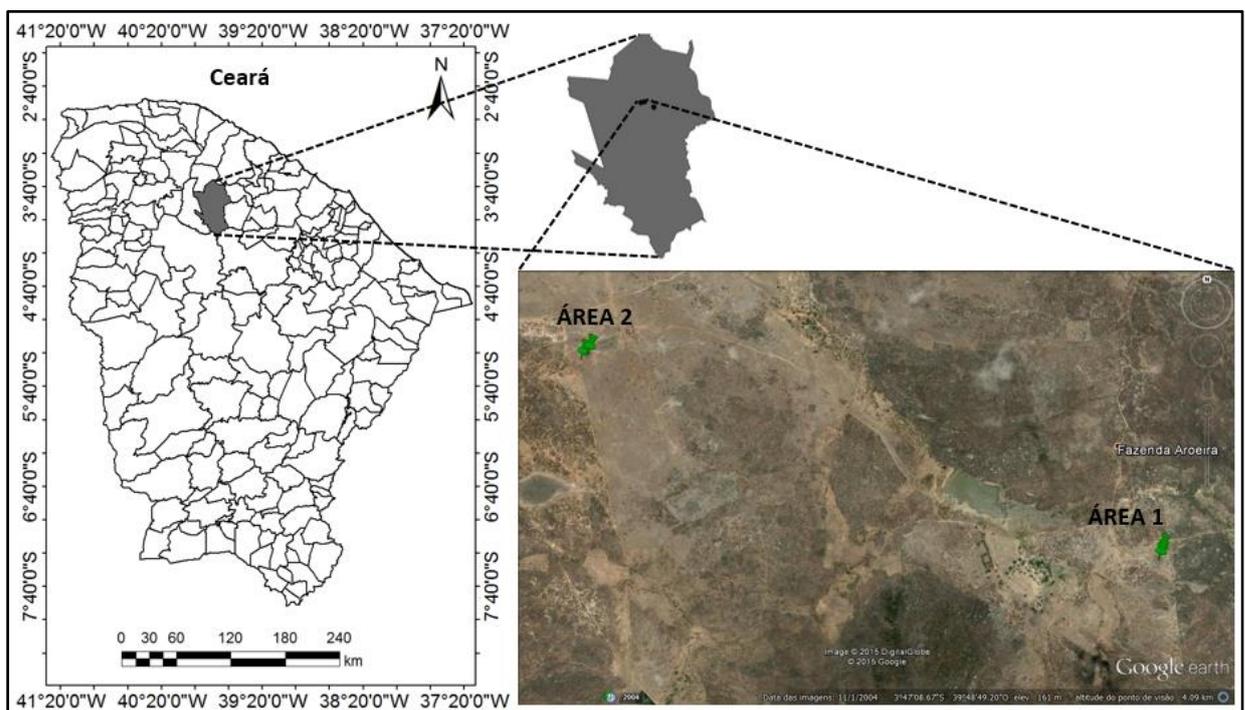
### 4.2.1 Caracterização da área estudada

A área experimental está localizada no município de Irauçuba – CE (Figura 6), o qual está inserido em um dos núcleos de desertificação mapeados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2004). O município ocupa uma área de 1.461,22 km<sup>2</sup> que representa 0,98% do Estado do Ceará. A sede encontra-se a 146 km da capital Fortaleza-CE em linha reta (IPECE, 2014).

Irauçuba possui temperatura média 25,9°C e pluviosidade média anual de 539,8 mm, com base nos registros dos últimos 78 anos, com meses mais chuvosos entre janeiro a maio (FUNCEME, 2015; DCA, 2015). O índice de aridez, com base nos registros dos últimos 38 anos, é de 26,9, classificando a região como clima semiárido (FUNCEME, 2015).

Na região predominam os solos do tipo Luvissole, Planossolo, NeossoloLitólico e Argissolo, inseridos em depressões sertanejas e maciços residuais. A vegetação típica é a Catinga Arbustiva Aberta (IPECE, 2014).

**Figura 6** – Mapa do estado do Ceará destacando-se o município de Irauçuba e a localização das áreas de estudo.



#### 4.2.2 Tratamentos, amostragem e localização

A pesquisa foi realizada em duas áreas, em solos classificados por SOUSA *et al.* (2012) como PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico vertissólico (Área 1) e PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Área 2) (Figura 6), submetidos a dois tipos de manejo (pousio e sobrepastejo). As áreas de pousio 1 e sobrepastejo 1 são vizinhas, assim como as áreas de pousio 2 e sobrepastejo 2 (Figura 7). As coordenadas geográficas e a altitude das áreas são as seguintes: pousio 1 ( $3^{\circ}47' 23,62''S$  e  $39^{\circ}47' 51,86''W$ ; altitude – 164 m), pousio 2 ( $3^{\circ} 46' 40,64''S$  e  $39^{\circ} 49' 48,85''W$ ; altitude – 159 m), sobrepastejo 1 ( $3^{\circ} 47' 22,40''S$  e  $39^{\circ} 47' 51,44''W$ ; altitude – 164 m) e sobrepastejo 2 ( $3^{\circ} 46' 41,71''S$  e  $39^{\circ} 49' 50,19''W$ ; altitude – 159 m).

**Figura 7** – Áreas de estudo no município de Irauçuba - CE. A: pousio 1 (cercada) e sobrepastejo 1; B: pousio 2 (cercada) e sobrepastejo 2.



As áreas de pousio possuem 0,25 ha cada e foram cercadas com arame farpado no primeiro semestre do ano de 2000, para evitar a entrada de animais domesticados (bovinos, caprinos, ovinos, equinos, asininos e muares) (Figura 7). Estas áreas hoje em pousio, antes de serem cercadas, estavam degradadas e vinham sendo utilizadas com um manejo de sobrepastejo. No primeiro semestre do ano de 2013 foram realizadas as coletas de solo para análise, totalizando um tempo de pousio de 13 anos.

As áreas do entorno ao pousio, são degradadas pela intensa exploração com a criação de bovinos e caprinos por mais de 30 anos em sistema de sobrepastejo. Estas áreas continuaram a ser degradadas e exploradas em sistema de sobrepastejo, apresentando alguns elementos que confirmam a degradação, como a presença de erosão laminar e em voçorocas,

grandes áreas com solo descoberto, escassa cobertura vegetal, vegetação arbustiva e espaçada, além de fazer parte do núcleo de desertificação mapeado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2004) (Figura 4).

Em cada área foram abertas quatro minitrincheiras (30 x 30 cm) no ano de 2013, representando quatro repetições, para coleta de amostras de solo com estrutura deformada no horizonte A, o qual se encontrava com 3,5 cm de espessura no pousio 1 e sobrepastejo 1 e com 3 cm para pousio 2 e Sobrepastejo 2. A coleta das amostras com estrutura indeformada foi realizada até a profundidade de 0-5 cm. Após as coletas, as amostras foram identificadas e acondicionadas em caixas para serem levadas ao laboratório de pedologia da Universidade Federal do Ceará.

As amostras com estrutura deformada foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em tamis com malha de 2 mm de abertura, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras com estrutura indeformada foram coletadas com amostrador tipo Uhland em anéis de 5 cm de altura e utilizadas para determinação da densidade do solo.

#### *4.2.3 Análises químicas e físicas*

As análises químicas consistiram de determinações de pH (água e KCl), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), acidez potencial ( $\text{H}+\text{Al}$ ), carbono orgânico (C.O.) e fósforo (P) (EMBRAPA, 2011). A capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (S), percentual de sódio trocável (PST), saturação de bases (V%) e saturação por alumínio (m%) foram calculadas com base em Embrapa (2011).

O fracionamento físico do carbono orgânico do solo foi realizado seguindo o método proposto por Cambardella e Elliot (1992), utilizando-se 20 g de TFSA e 80 ml de solução de hexametáfosfato de sódio ( $5 \text{ g L}^{-1}$ ), agitados por 16 h em agitador horizontal a 140 batidas por minuto. Posteriormente, utilizou-se uma peneira de malha de 0,053 mm e jatos de água para separar o material retido na peneira (fração areia) que foi seco em estufa a 50 °C e moído em gral de porcelana. Na fração retida na peneira, seca e moída, foi determinado o carbono orgânico particulado (COP) e por diferença, com o carbono orgânico total (COT), tem-se o carbono orgânico associado aos minerais (COAM).

As análises físicas foram realizadas com base nos métodos descritos em Embrapa (2011). A densidade do solo foi determinada em amostra com estrutura indeformada, coletada com amostrador tipo Uhland. Para a densidade de partículas utilizou-se o método do balão

volumétrico, com base no volume de álcool gasto para completar um balão volumétrico de 50 ml com 20 g amostras de solo seca em estufa a 105°C. A análise granulométrica foi feita pelo método da pipeta, com amostra de 20 g de solo seca em estufa a 105°C, tendo como dispersante o hidróxido de sódio 1 mol L<sup>-1</sup>: as areias foram separadas com peneira de malha 0,053 mm de diâmetro e as frações silte e argila por sedimentação, conforme a Lei de Stokes. Na determinação da argila dispersa em água, usou-se o mesmo método da análise granulométrica, porém sem utilização de dispersante químico. O grau de floculação e a porosidade total foram calculados com base nas recomendações da Embrapa (2011).

A velocidade de infiltração básica foi medida na superfície do solo com infiltrômetro de tensão (PERROUX; WHITE, 1988), na tensão de 0 kPa. No teste de infiltração foram realizadas leituras até a verificação de resultados semelhantes, informando que o processo de infiltração de água no solo atingiu o ponto de equilíbrio. Utilizou-se a seguinte equação:

$$VIB = q \times 60 \times \left( \frac{Dt^2}{Db^2} \right)$$

Em que VIB - Velocidade de Infiltração Básica (mm min<sup>-1</sup>) é o fluxo constante de água do infiltrômetro de tensão; Dt (mm) é o diâmetro do tubo do infiltrômetro de tensão; Db (mm) é o diâmetro da base do infiltrômetro de tensão.

#### 4.2.4 Análises Mineralógicas

As análises mineralógicas foram realizadas por difratometria de raios-X (DRX) na Universidade Federal Rural de Pernambuco, utilizando-se amostras das frações de areia, silte e argila do horizonte A das áreas estudadas.

Os difratogramas foram obtidos empregando-se difratômetro Shimadzu, operado a uma tensão de 40 kv, com corrente de 20 mA, radiação de CuK $\alpha$ , com monocromador de grafite. A amplitude de varredura foi de 5 a 70° (2 $\theta$ ) para as amostras de areia, silte e argila sem prévia orientação e uma velocidade de registro, respectivamente, de 2° 2 $\theta$  min<sup>-1</sup>, 1,5° 2 $\theta$  min<sup>-1</sup> e 1,25° 2 $\theta$  min<sup>-1</sup>. Para as amostras de argila saturadas com K, Mg e Mg-glicerol, a amplitude de varredura foi de 3 a 35° (2 $\theta$ ) e a velocidade de registro de 1,0° 2 $\theta$  min<sup>-1</sup>.

As amostras de areia, silte e argila natural para análise sem prévia orientação foram montadas em suporte de metal e irradiadas. As amostras de argila natural para análises na forma de microagregados, orientados em lâminas de vidro, receberam pré-tratamento para remoção de carbonatos (acetato de sódio 1 mol L<sup>-1</sup> a pH 5,0), matéria orgânica (peróxido de

hidrogênio 15%) e óxidos de ferro (citrato-ditionito-bicarbonato), visando a remoção de agentes cimentantes e flocculantes que dificultam a identificação dos minerais (JACKSON, 1975). Posteriormente, para identificar e caracterizar a presença de minerais expansíveis na fração argila, foram realizados os tratamentos com saturação por K, Mg e Mg-glicerol, com aquecimentos dos tratamentos com K a 350 e 550°C (JACKSON, 1975).

As interpretações dos difratogramas e identificação dos minerais constituintes das frações areia, silte e argila seguiram os critérios apresentados por Jackson (1975); Brown e Brindley (1980); Moore e Reynolds (1989).

#### *4.2.5 Análises Estatísticas*

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com duas áreas (PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico vertissólico (Área 1); PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Área 2)) em dois tipos de manejo (pousio e sobrepastoreio) e quatro repetições.

As análises de variância foram realizadas seguindo as recomendações de Ferreira (2000). As médias dos atributos avaliados nas duas áreas e nos tipos de manejo do solo foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SISVAR (FERREIRA, 2003).

Para análise estatística multivariada de agrupamento foi utilizado o programa Statistica 8.0, construindo-se um dendrograma de dissimilaridade, com a separação de grupos similares usando o método de Wardcom a medida euclidiana para a distância entre os casos nos grupos.

Com a análise estatística multivariada foram elaborados dois dendrogramas, um com os atributos físicos: areia total, areia grossa, areia fina, silte, argila, argila dispersa em água, grau de flocculação, densidade da partícula, densidade do solo, porosidade total, velocidade de infiltração, e outro com os atributos químicos: pH (água e KCl),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , H+Al, C.O, CTC, S, PST, V%, m%, COP e COAM.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Atributos físicos

As áreas em sobrepastejo apresentaram  $14 \text{ g kg}^{-1}$  (1,8%) (área 1) e  $90 \text{ g kg}^{-1}$  (16,6%) (área 2) a mais de areia total em relação ao pousio, porém somente sendo estatisticamente distinto na área 2. Sousa (2009), estudando estas mesmas áreas com sete anos de pousio, verificou que o sobrepastejo teve 2,50% a mais de areia na área 1 e na área 2 havia 4,06% a mais de areia no pousio, mostrando que a erosão continua intensa nas áreas em sobrepastejo e pioraram em comparação a 7 anos de pousio.

As frações areia grossa e fina das áreas de pousio, diferiram estatisticamente das áreas em sobrepastejo. As áreas em sobrepastejo possuem  $149 \text{ g kg}^{-1}$  (41,3%) e  $188 \text{ g kg}^{-1}$  (84,7%) a mais de areia grossa e  $135 \text{ g kg}^{-1}$  (48,7%) e  $98 \text{ g kg}^{-1}$  (43,9%) a menos de areia fina em comparação com o pousio 1 e 2, respectivamente (Tabela 7). A fração areia é composta principalmente por quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), um mineral que não apresenta déficit de carga em sua estrutura cristalina e com isso não possui cargas elétricas que possam dar adesão as partículas de areia. Com isso, a fração areia é facilmente removida pela erosão e principalmente a fração areia fina, como observado.

A maior concentração de areia grossa nas áreas em sobrepastejo em comparação com as áreas em pousio (Tabela 7) revela um agravamento na situação das áreas em sobrepastejo. O pastejo contínuo acima da capacidade de suporte e o pisoteio excessivo dos animais, deixa o solo desprotegido conforme pode ser visualizado na Figura 7, facilitando a ação da erosão hídrica que, em casos mais extremos, gera voçorocas como as encontradas na área 1 (Figura 8 A). Contudo, a condição de 13 anos de pousio permitiu a revegetação da área e a maior proteção contra a erosão hídrica, exercida pelas copas dos arbustos, plantas herbáceas e gramíneas, conforme pode ser visualizado na Figura 8 B, impedindo a incidência direta das gotas de chuva e o arraste superficial do solo.

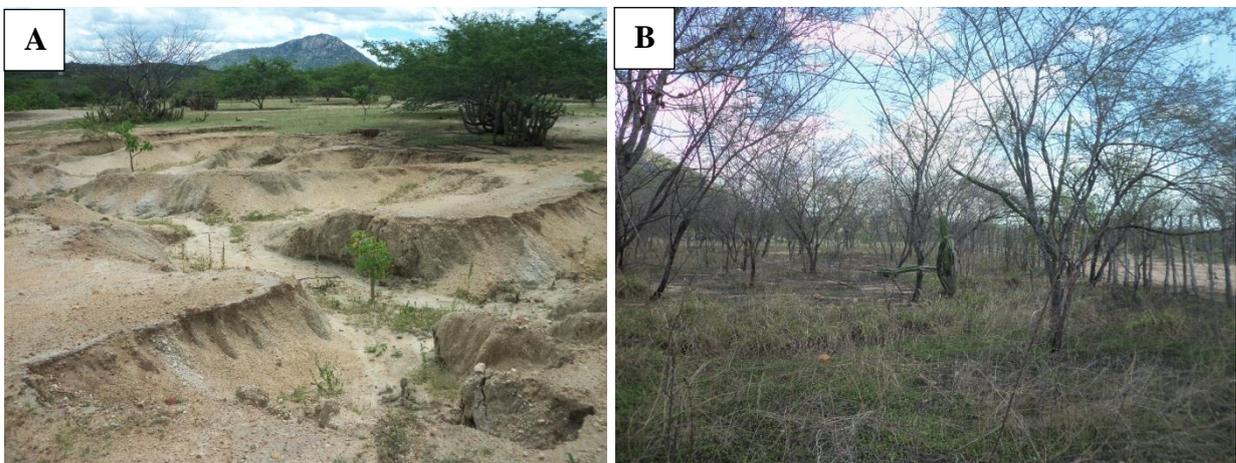
**Tabela 7** – Granulometria e atributos físicos do solo sob condição de pousio e sobrepastejo em áreas em processo de desertificação no município de Irauçuba-CE.

Manejos	AT <sup>1</sup>	AG <sup>2</sup>	AF <sup>3</sup>	SIL <sup>4</sup>	ARG <sup>5</sup>	ADA <sup>6</sup>	GF <sup>7</sup>	PT <sup>8</sup>	VI <sup>9</sup>	DP <sup>10</sup>	DS <sup>11</sup>
	-----g kg <sup>-1</sup> -----						-----%-----		-cm min <sup>-1</sup> -	-----Mg m <sup>-3</sup> -----	
<b>PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico vertissólico (Área 1)</b>											
Pousio	773 A	361 B	412 A	165 A	62 A	11 A	81 A	36 A	0,43 A	2,52 A	1,61 B
Sobrepastejo	787 A	510 A	277 B	168 A	44 A	9 A	78 B	30 B	0,24 B	2,52 A	1,77 A
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Área 2)</b>											
Pousio	543 B	222 B	321 A	327 A	130 A	18 A	85 A	35 A	0,39 A	2,52 A	1,64 B
Sobrepastejo	633 A	410 A	223 B	289 B	77 B	20 A	72 B	30 B	0,26 B	2,51 A	1,76 A

Letras maiúsculas idênticas não diferenciam estatisticamente entre si na mesma área pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Nota: <sup>1</sup> areia total; <sup>2</sup> areia grossa; <sup>3</sup> areia fina; <sup>4</sup> silte; <sup>5</sup> argila; <sup>6</sup> argila dispersa em água; <sup>7</sup> grau de flocculação; <sup>8</sup> porosidade total; <sup>9</sup> velocidade de infiltração; <sup>10</sup> densidade da partícula; <sup>11</sup> densidade do solo.

O maior teor de areia em algumas situações está associado a maior degradação da área, conforme observado por vários autores que verificaram aumento no teor de areia nas áreas em sobrepastejo em comparação com as áreas em pousio, a exemplo de He *et al.* (2004), Huang, Wang e Wu (2007), Pei, Fu e Wan (2008) e Mekuria e Aynekulu (2013). Yong-Zhong *et al.* (2005) verificaram um aumento de 4,4% na porcentagem de areia nas áreas em sobrepastejo em comparação com áreas em pousio de 10 anos, em função da perda de partículas mais finas por erosão. Segundo os mesmos autores, a perda de frações finas do solo terá grande influência na capacidade de retenção de água no solo, e nos teores de carbono orgânico e nutrientes.

**Figura 8** – Imagens da área 1: (A) evidenciando a presença de voçorocas no sobrepastejo e (B) destacando a revegetação da área após 13 anos em pousio.



Segundo Sampaio *et al.* (2005) e González-Botello e Bullock (2012), a erosão hídrica é extremamente preocupante na região semiárida, principalmente nas áreas em processo de desertificação que possuem escassa cobertura vegetal, com poucas folhas ou totalmente desprovidas de folhas, facilitando a ação erosiva da chuva. A erosão deixa marcas visíveis de sua ação na paisagem, com surgimento de sulcos, ravinas e voçorocas, podendo agir também de forma silenciosa e pouco perceptível, por meio de erosão laminar, que reduz drasticamente a profundidade efetiva do solo em algumas décadas (SAMPAIO *et al.*, 2005). Nas áreas do presente estudo, Sousa *et al.* (2012) encontraram que o manejo de sobrepastejo causou uma redução na espessura do horizonte A em relação às áreas que estavam há 7 anos no pousio.

A retirada da cobertura vegetal para suprir, essencialmente, demandas energéticas (carvão vegetal), assim como a aberturas de novas áreas para pastagem, deixa o solo

desprotegido. Essa falta de proteção, associada ao regime de chuvas irregulares e torrenciais, favorece a erosão, que por sua vez, causa a diminuição da capacidade de retenção de água pelos solos, devido a remoção de partículas finas e, conseqüentemente, redução de produção de biomassa vegetal (PACHÊCO, FREIRE e BORGES, 2006).

Nas áreas em sobrepastejo as chuvas encontram o solo desprotegido, ocorrendo a remoção principalmente de partículas finas, como as de areia fina, silte e argila do solo, verificada na presente pesquisa (Tabela 7), e modificando a granulometria do solo, conforme também observado por He *et al.* (2004). Estas características são típicas da erosão laminar (PIRES; SOUZA, 2006).

Os teores de silte, foram estatisticamente semelhantes entre os tratamentos (pousio x sobrepastejo) na área 1. Entretanto, na área 2 houve diferença significativa, com o pousio apresentando 38 g kg<sup>-1</sup>(13,1%) a mais de silte em comparação com a área em sobrepastejo (Tabela 7). Em estudo realizado por Sousa (2009), nestas mesmas áreas com sete anos de pousio, foram verificados maiores teores de silte (0,3% na área 1 e 0,6% na área 2) nos tratamentos com pousio, mostrando uma perda de 12,5 % de silte em apenas 6 anos no sobrepastejo 2.

Os teores de argila foram maiores nas áreas em pousio, porém estatisticamente diferente somente na área 2 com 53 g kg<sup>-1</sup>(68,8%) a mais de argila em relação ao sobrepastejo. Sousa (2009) com pousio de 7 anos nestas mesmas áreas, verificou que os valores de argila eram superiores somente na área 1 (30,8%) nos tratamentos com pousio, na área 2 havia 33,8% a mais de argila no sobrepastejo. Estes valores indicam que as áreas em sobrepastejo vêm perdendo, no o horizonte A, grande quantidade de partículas finas do solo (areia fina, silte e argila), tornando-o cada vez mais arenoso que, segundo Mekuria e Aynekulu (2013), afeta negativamente a capacidade de restauração da fertilidade do solo.

Esses maiores valores de silte e argila na área de pousio 2 estão relacionados com as menores perdas de solo por erosão laminar, que são 83% menores que a área de sobrepastejo (ALMEIDA; OLIVEIRA; ARAÚJO, 2012)

Em áreas de pastejo contínuo no semiárido chinês foi observado resultado semelhante ao verificado, com aumento do percentual de areia e diminuição nos valores de silte e argila em comparação com áreas em pousio (HUANG; WANG; WU,2007; PEI; FU; WAN, 2008).

Su *et al.* (2004) constataram que as áreas com 5 anos de pousio continham maiores teores de areia fina, silte e argila em comparação com as áreas em sobrepastejo. Segundo os

autores, esses maiores teores de partículas mais finas proporcionaram menor densidade do solo nas áreas de pousio e uma elevação da densidade do solo no sobrepastejo.

Os resultados da análise granulométrica (Tabela 7) ao serem comparados com os dados de Sousa (2009), que realizou estudos nas mesmas áreas com sete anos de pousio, mostram que o processo de desertificação continua intenso nas áreas de sobrepastejo, onde a erosão diferencial (das partículas mais finas) torna o solo cada vez mais arenoso, ocasionando a remoção das argilas que são importantes na agregação do solo, semelhante ao observado nos estudos de Yong-Zhong *et al.* (2005).

Os teores de argila dispersa em água foram estatisticamente semelhantes entre as áreas, mas o grau de floculação foi estatisticamente superior em ambas as áreas sob pousio (Tabela 7), semelhante ao observado por Sousa (2009) nestas mesmas áreas. Esta maior floculação no pousio é justificada pelos maiores teores de argila, CO e  $\text{Ca}^{2+}$ , que favorecem uma maior agregação do solo.

O manejo de 13 anos de pousio apresentou menor valor de densidade do solo em relação ao sobrepastejo (Tabela 7). Entretanto, quando essas áreas tinham sete anos de pousio, Sousa (2009) identificou valores de densidade do solo inferiores ao sobrepastejo, mas sem haver diferença estatística. O pousio de 13 anos evitou o pisoteio de animais e, conseqüentemente, a compactação do solo, havendo, ainda, redução da densidade do solo pelo desenvolvimento radicular das plantas que tiveram oportunidade de crescer pela ausência de pastejo, pelo maior aporte de material vegetal ao solo e pela atividade dos organismos do solo.

No trabalho que envolve essas áreas de estudo, Pessoa (2008) encontrou maior diversidade de espécies vegetais e maior banco de sementes nas áreas de pousio (1.492 sementes/m<sup>2</sup>) do que no sobrepastejo (1.125 sementes/m<sup>2</sup>) e, ainda, com diferenciação no número total de sementes germinadas, com média de 373 para o pousio e 281 para o sobrepastejo. Esses resultados mostram o potencial de regeneração da vegetação das áreas em pousio que, conseqüentemente, eleva o aporte de material vegetal ao solo (PESSOA, 2008).

Os benefícios da prática de pousio já foram relatados por vários autores, como em He *et al.* (2004), Castellano e Valone (2007) e Mekuria *et al.* (2007), que também verificaram redução na compactação do solo após a exclusão de animais das áreas.

Para Seybold; Herrick e Brejda (1999), a maior atividade microbiana, o aporte de material orgânico e a macro fauna são possivelmente os principais responsáveis pela redução da compactação do solo após a implantação do sistema de pousio.

Valores de densidades similares ao verificado nas áreas de sobrepastejo foram também encontradas em áreas sobre processo de desertificação no estado de Pernambuco ( $1,76 \text{ Mg m}^{-3}$  e  $1,74 \text{ Mg m}^{-3}$ ) por Galindo *et al.* (2008) e em áreas de sobrepastejo no semiárido paraibano ( $1,72 \text{ Mg m}^{-3}$ ) por Pereira Júnior *et al.* (2014).

Em áreas com pousio de 5 anos, Su *et al.* (2004) encontraram valores de densidade do solo menores que as áreas em sobrepastejo, atribuindo em parte a remoção de partículas finas e a consequente concentração de areia em função da erosão do solo no sobrepastejo.

Os valores de densidade do solo no manejo de pousio (Tabela 7) estão abaixo dos limites críticos para o desenvolvimento radicular preconizados por e Reichert; Reinert e Braida (2003) e Reinert *et al.* (2008), na faixa de  $1,7$  a  $1,8 \text{ Mg m}^{-3}$ . A densidade do solo no sobrepastejo (Tabela 7) está nesse limite crítico, podendo desfavorecer o desenvolvimento radicular das plantas e facilitar a ação do processo erosivo do solo pelo escoamento superficial da água.

A porosidade total (PT) foi estatisticamente diferente quanto ao tipo de uso do solo, sendo superior em 20 % no pousio 1 e 16,7 % no pousio 2, em comparação com as áreas em sobrepastejo (Tabela 7). Sousa *et al.* (2012) encontraram resultados análogos quando essas áreas tinham sete anos de pousio, entretanto sem haver diferença estatística. Dessa forma, há indícios que a continuidade do uso desses solos com sobrepastejo de bovinos e caprinos está intensificando a diferenciação na porosidade e na densidade do solo, em relação ao pousio.

Os valores da velocidade de infiltração são elevados, independente do tipo de uso do solo, devido às características do horizonte A em ambos ambientes. Todavia, ainda foi possível verificar diferenças estatísticas, em que o sobrepastejo apresenta as menores velocidades de infiltração (Tabela 7), provavelmente devido ao baixo aporte de matéria orgânica no solo, aos menores valores de porosidade total e aos maiores valores de densidade do solo verificados para as áreas em sobrepastejo. Silva *et al.* (2012), estudando a influência do pastejo de caprino no semiárido paraibano, concluíram que o pisoteio de caprinos nas áreas de caatinga provocou alterações na taxa de infiltração de água no solo, principalmente na condição com maior número de animais, evidenciando os efeitos negativos do sobrepastejo de animais. Outros autores relatam melhoria na infiltração de água no solo à medida que aumenta o tempo de pousio (CASTELLANO; VALONE, 2007; PEI; FU; WAN, 2008). Jeddi e Chaieb (2010), estudando áreas com 12 anos de pousio, também verificaram melhoria na taxa de infiltração de água no solo nas áreas de pousio em comparação com áreas em sobrepastejo.

#### 4.3.2 Atributos químicos

Após 13 anos de pousio, a maioria das variáveis analisadas apresentou diferença significativa (Tabela 8) em relação às áreas de sobrepastejo. Os valores menores das variáveis químicas foram encontrados, principalmente, nas áreas em que continuaram sendo exploradas com a criação de bovinos e caprinos. No entanto, após somente sete anos de pousio nessas áreas, Sousa (2009) não encontrou diferenças significativas que pudessem ser atribuídas ao uso do solo.

Os valores de pH em água, nos tratamentos de pousio, foram classificados como moderadamente ácidos e os sobrepastejos como fortemente ácidos (EMBRAPA, 2009), mesmo não havendo diferença significativa entre os manejos na área 1 (Tabela 8). Os valores de pH em água nestas mesmas áreas, quando o tempo de pousio era de sete anos, foram classificados como fortemente ácido, somente o sobrepastejo 2 teve seu pH classificado como moderadamente ácido (SOUSA, 2009). A elevação do pH do solo nas áreas de pousio se deve possivelmente à decomposição dos resíduos vegetais aportado ao solo, pois segundo Franchini *et al.* (2001), Pavinato (2007) e Pavinato e Rosolem (2008), é comum ocorrer elevação no pH do solo com a adição de resíduos vegetais. Segundo os autores, este resultado seria o efeito da complexação dos cátions  $H^+$  e  $Al^{3+}$  pela matéria orgânica e do aumento da saturação da CTC do solo com Ca, Mg e K oriundo do resíduo vegetal.

A acidez potencial ( $H+Al$ ) e acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) são baixas em todos os tratamentos, segundo critérios de Ribeiro; Guimarães e Alvarez (1999), sendo, contudo, verificados valores menores nas duas áreas de pousio.

As variáveis relativas ao teor de nutrientes no solo, como  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ , soma de bases (Valor S), CTC e saturação por bases (V), foram todas estatisticamente maiores nas duas áreas de pousio em comparação com as áreas em sobrepastejo (Tabela 8).

**Tabela 8** –Características químicas do solo sob condição de pousio e sobrepastejo em áreas em processo de desertificação no município de Irauçuba-CE.

Manejos	pH(água)	pH(KCl)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Valor S	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC	V	m	PST	P	
			----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----										----- % -----		mg kg <sup>-1</sup>
<b>PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico vertissólico (Área 1)</b>															
Pousio	5,43A	4,27A	2,82A	1,70A	0,13A	2,00A	6,65A	0,27A	1,31A	7,96A	83,54 A	3,90B	1,63B	16,36A	
Sobrepastejo	5,35A	4,21A	0,77B	1,00B	0,27A	1,09B	3,13B	0,37A	1,71A	4,84B	64,66B	10,57A	5,57A	7,14B	
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Área 2)</b>															
Pousio	5,41A	4,23A	7,31A	3,67A	0,49B	2,64A	14,11A	0,35A	1,46B	15,57A	90,62A	2,42B	3,14B	23,02A	
Sobrepastejo	5,17B	4,22A	1,57B	1,50B	0,75A	1,62B	5,44B	0,37A	2,21A	7,65B	71,11B	6,36A	9,80A	16,42B	

Letras maiúsculas idênticas, em cada coluna, não diferenciam estatisticamente entre si na mesma área pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Nota: Valor S - soma de bases; CTC - capacidade de troca de cátions; V - saturação por bases; m - saturação por alumínio; PST - percentual de saturação por sódio.

Há seis anos, os valores de CTC no pousio 1 e 2 eram 8,85 e 6,67  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  respectivamente (SOUSA, 2009), diferente dos atuais 7,96 e 15,57  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , mas deve-se destacar que a recuperação destas áreas não é uniforme. A CTC do solo, nas áreas sob condição de sobrepastejo, apresentava melhores valores há seis anos, com CTC de 8,17 e 9,47  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  para o sobrepastejo 1 e 2. Em 2013, os resultados mostram uma redução na CTC destas áreas com valores de 4,84 e 7,65  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ . Evidenciando um agravamento nos atributos químicos do solo com a continuação do uso com o sobrepastejo, pois há exportação de nutrientes, que não são repostos, e ocorre uma utilização da área acima de sua capacidade de suporte, agravando dessa forma o processo de desertificação verificado em Irauçuba – CE (MMA, 2004).

Mekuria e Aynekulu (2013), estudando áreas com 5, 10, 15 e 20 anos da implantação de pousio, verificaram que todas as áreas de pousio apresentaram maior valor de nitrogênio, fósforo e capacidade de troca de cátions, porém os valores aumentaram de forma gradativa em função do tempo de adoção, confirmando os efeitos positivos desta prática e o efeito negativo do sobrepastejo.

Esses valores mais elevados de nutrientes nas áreas em pousio (Tabela 8) se devem à ausência de exploração da área, evitando a exportação de nutrientes; ao reestabelecimento da vegetação (Figura 8 B), que promove uma elevação nos teores de nutriente no horizonte A do solo, ao explorar nutriente em maiores profundidades e depositá-los na superfície do solo junto com a biomassa vegetal; e também devido à atividade de macro e microrganismos no solo. Mekuria e Aynekulu (2013), estudando áreas de pousio, verificaram correlação positiva entre o teor de nutrientes no solo e a biomassa vegetal, mostrando a importância da restauração do teor de nutrientes do solo através da entrada de material orgânico vegetal ao solo. Mekuria *et al.* (2007) também verificaram valores maiores de nutrientes nas áreas de pousio.

Segundo Abule; Smith e Snyman (2005) e Savadogo; Sawadogo e Tiveau (2007), o sobrepastejo de animais reduz o aporte de material vegetal ao solo, tendo consequências importantes na manutenção e ciclagem de nutrientes no solo.

Os valores de  $\text{Na}^+$  e a PST foram superiores nas áreas em sobrepastejo (Tabela 8). A condição de maior densidade do solo e menor porosidade total e velocidade de infiltração (Tabela 7) influenciaram a presença de maiores valores de  $\text{Na}^+$  e a PST, pois dificultou a lixiviação do  $\text{Na}^+$  no solo, possibilitando sua acumulação nas áreas em sobrepastejo. Esse teor mais elevado de sódio também eleva a susceptibilidade à erosão dessas áreas, devido à

presença de partículas de solo dispersa que podem ser facilmente carreadas pela água proveniente da chuva, por ter menor grau de floculação (Tabela 7).

Os teores de fósforo (P) foram estatisticamente maiores nas áreas de pousio em comparação às áreas em sobrepastejo, havendo um incremento de 56,3% no pousio 1 e 28,7% no pousio 2 (Tabela 8). Esses valores mais elevados de fósforo, nas áreas de pousio, estão relacionados com a ausência de pastejo e com as menores perdas de partículas finas do solo e aos maiores teores de carbono orgânico. Su *et al.* (2004), estudando áreas com 5 anos em pousio, constataram correlação positiva entre o estoque de carbono orgânico e o teor de fósforo, sugerindo que as mudanças nas concentrações de P no solo são reguladas pela matéria orgânica do solo, que é um dos fatores importantes no armazenamento de nutrientes em solos arenosos.

Mekuria *et al.* (2007) e Mekuria e Aynekulu (2013) encontraram valores de P mais elevados em áreas de pousio em comparação ao sobrepastejo. Segundo Mekuria e Aynekulu (2013), os maiores valores de P nas áreas de pousio se devem a redução da erosão do solo pela maior proteção pela cobertura vegetal e da entrada de carbono orgânico no solo. Neste mesmo trabalho, os autores verificaram teores idênticos de P entre a área da mata e a área de pousio após 20 anos, sugerindo um tempo mínimo de 20 anos de pousio para restaurar os teores de nutrientes do solo em áreas em sobrepastejo.

#### 4.3.3 Fracionamento físico do carbono orgânico

Os teores do carbono orgânico total (COT) foram significativamente maiores nas áreas de pousio em comparação as áreas em sobrepastejo, havendo 7,98 g kg<sup>-1</sup>(167,3%) e 18,35 g kg<sup>-1</sup>(244,0%) mais COT nas áreas de pousio 1 e 2, respectivamente (Tabela 9). Esses maiores valores estão relacionados com o reestabelecimento vegetal nestas áreas, pois segundo Assefa *et al.* (2003) e Yayneshet; Eik e Moe (2009), com a implantação do pousio em áreas degradadas, o processo de recuperação se inicia com a rápida recuperação de espécies herbáceas e depois de 3 a 5 anos das espécies arbustivas e arbóreas, aumentando a taxa de deposição de material orgânico no solo.

Em várias pesquisas (REEDER; SCHUMAN, 2002; DESCHEEMAEKER *et al.*, 2006; HUANG; WANG; WU, 2007; MEKURIA *et al.*, 2007; MEKURIA, 2013) com a implantação de pousio, foi reportado o aumento no teor de carbono orgânico no solo semelhante ao presente trabalho (Tabela 9). Esse aumento no teor de carbono orgânico está

relacionado ao incremento na biomassa vegetal das áreas de pousio (EBRO; SNYMAN; SMIT, 2007; YIMER; LEDIN; ABDELKADIR, 2007).

**Tabela 9** – Fracionamento do carbono orgânico do solo em condições de pousio e sobrepastejo, Irauçuba-CE.

Manejo	COT <sup>1</sup>	COP <sup>2</sup>	COAM <sup>3</sup>
	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
<b>PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico vertissólico (Área 1)</b>			
Pousio	12,75 A	1,57 A	11,18 A
Sobrepastejo	4,77 B	0,57 B	4,20 B
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Área 2)</b>			
Pousio	25,87 A	3,25 A	22,62 A
Sobrepastejo	7,52 B	0,91 B	6,61 B

Letras maiúsculas idênticas, em cada coluna, não diferenciam estatisticamente entre si na mesma área pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Nota: 1 carbono orgânico total; 2 carbono orgânico particulado; 3 carbono orgânico associado aos minerais.

O menor aporte de material orgânico vegetal nas áreas em sobrepastejo é fruto do pastejo excessivo e do extrativismo vegetal de plantas arbóreas e arbustivas (PACHÊCO; FREIRE; BORGES *et al.*, 2006). Trigueiros *et al.* (2009), analisando a diversidade de espécies vegetais no município de Tauá no estado do Ceará, verificaram que as áreas com uso de pastagem excessiva e extrativismo possuíam 19 espécies, 18 gêneros e 10 famílias, enquanto a área com 10 anos de pousio teve 21 espécies, 19 gêneros e 21 famílias, evidenciando uma maior diversidade e conseqüentemente uma maior deposição de material vegetal ao solo na área de pousio.

O tempo é um fator essencial na recuperação de áreas degradadas. Mekuria e Veldkamp (2012), estudando a restauração da vegetação em áreas de pousio, verificaram que após 20 anos ocorreu aumento no número de espécies vegetais, porém de plantas herbáceas e de pequenos arbustos, constando a necessidade de mais tempo para alcançar o estágio encontrado em uma floresta.

No entanto, segundo Lepch *et al.* (1982) e Sollins; Homann e Caldwell (1996), a quantidade de argila no solo também pode influenciar o teor de carbono orgânico no solo, por adsorver compostos orgânicos e estabilizá-los no solo (ZECH *et al.*, 1997). Fato que incrementa a possibilidade de se ter um maior teor de COT nas áreas de pousio e menor nas

áreas de sobrepastejo, pois o pousio 1 e 2 e sobrepastejo 1 e 2 apresentaram respectivamente, 62, 130, 44 e 77 g kg<sup>-1</sup> de argila (Tabela 7).

O carbono orgânico do solo nas áreas de pousio também pode ter uma proteção mais eficiente em função dos maiores valores de soma de bases (Tabela 8), pois esses cátions básicos formam uma ponte entre a superfície da argila com carga negativa, como a esmectita e vermiculita encontrada nestes solos (Tabela 10), e o grupo funcional orgânico negativamente carregado (SOLLINS; HOMANN; CALDWELL, 1996).

A adição de cátions ao solo aumenta a sorção de grupos orgânicos e varia em função do cátion, seguindo-se a seguinte ordem decrescente: Al<sup>3+</sup>> Ca<sup>2+</sup>> Mg<sup>2+</sup>> K<sup>+</sup>> Na<sup>+</sup> (VARADACHARI; MONDAL, GHOSH, 1991). Essas informações se complementam com a afirmação de Pavinato e Rosolem (2008), em que a maioria dos ácidos orgânicos possui caráter aniônico, pois as suas cargas são dependentes do pH e em pH superior a 3,5 (valor de PCZ) predominam cargas negativas nesses grupos, graças à dissociação do H<sup>+</sup>, onde os cátions atuam como uma ponte entre as cargas negativas da argila e as cargas negativas da matéria orgânica.

Segundo Baldock e Skjemstad (2000), a presença de cátions multivalentes do solo, como os verificados na caracterização química dos Planossolos estudados, com teores mais elevados nas áreas de pousio (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>) (Tabela 9), tem efeito indireto na estabilização da MOS, pois argilas saturadas com cátions multivalentes tendem a permanecer floculadas, reduzindo a exposição da MO adsorvida na superfície da argila. Além disso, na presença de cátions multivalentes há uma orientação multidimensional de macromoléculas orgânicas com grupos carboxílicos funcionais, tornando a estrutura mais condensada.

O carbono orgânico particulado (COP) é uma fração orgânica sensível a mudanças no manejo do solo (FIGUEIREDO *et al.*, 2010; PEREIRA *et al.*, 2012; LOSS *et al.*, 2014), podendo ser utilizada para avaliar a qualidade do solo (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005).

O carbono orgânico particulado (COP) foi estatisticamente superior no pousio em relação às áreas em sobrepastejo, sendo verificado 1,0 g kg<sup>-1</sup> (175,4%) e 2,34 g kg<sup>-1</sup> (257,1%) a mais de COP nas áreas de pousio 1 e 2, respectivamente em comparação às áreas em sobrepastejo (Tabela 9). Evidenciando o efeito do positivo da prática de 13 anos de pousio, que possibilitou com a ausência de pastejo um maior aporte de biomassa vegetal devido ao reestabelecimento da vegetação (Figura 8 B), elevando os teores de COP.

Segundo Loss (2011), no COP não é possível diferenciar as frações leve livre (FLL) e leve oclusa (FLO). O COP é a fração orgânica retida na peneira de 53 µm, havendo uma

mistura entre estas frações. Sendo assim, o COP é formado por material vegetal jovem, fresco ou parcialmente decomposto, externo aos agregados que forma a FLL e por material orgânico mais estável, com grau de decomposição mais avançado em comparação com a FLL que está protegido no interior dos agregados que formam a FLO (DICK *et al.*, 2009; LOSS, 2011).

Além do menor incremento na biomassa vegetal nas áreas de sobrepastejo, as condições de compactação, observadas em parte pela densidade do solo (1,76 a 1,77 Mg m<sup>-3</sup>) (Tabela 7), favorecem ao menor teor de COP (Tabela 9) nestas áreas, pois parte do COP está protegido no interior dos agregados nas áreas de pousio (DICK *et al.*, 2009; DU *et al.*, 2013).

No manejo com pousio, o maior incremento na biomassa vegetal eleva os teores de carbono orgânico total e favorece a formação de agregados no solo que irão proteger o COP, mais especificamente a FLO e também elevar os teores da FLL entre os agregados.

Os principais mecanismos de proteção da fração FLO, que faz parte do COP, é a recalitrância do material orgânico adicionado ao solo e a proteção física dos agregados pela oclusão da matéria orgânica, que limita o acesso desse material aos microrganismos e a difusão de ar e água (SOLLINS; HOMANN; CALDWELL, 1996; DICK *et al.*, 2009). A destruição de agregados do solo pelo pisoteio de animais, elimina a maior proteção da FLL que é a proteção intraagregado da FLL, justificando os menores valores do COP no sobrepastejo (Tabela 9).

O COP é o que está na matéria orgânica do solo com tamanho superior a 53 µm, mesma granulometria da fração areia, estando este em parte associado à fração areia (NICOLOSO, 2005), que no presente estudo possui uma assembleia mineralógica, com os seguintes minerais primários: quartzo, feldspatos, micas e anfibólio (Tabela 10).

A relação do COP com a fração areia pode facilitar sua decomposição, pois segundo Feller e Beare (1997), materiais orgânicos aderidos a partículas de areia estão mais acessíveis aos microrganismos.

O COP nos solos examinados corresponde somente a uma pequena percentagem do COT (pousio 1 – 12,3%; pousio 2 – 12,6%; degradada 1 – 11,9% e degradada 2 – 12,1%), estando abaixo dos valores preconizados por Cambardella e Elliott (1992) para regiões frias e semiáridas, que seria entorno de 20 a 50% do COT.

É interessante observar que os valores do COP são todos inferiores aos valores do carbono orgânico associado aos minerais (COAM) (Tabela 9), isso ocorre porque, segundo Chan *et al.* (2001) e Figueiredo *et al.* (2010), os processos de formação do COP e COAM são distintos e concorrentes. Ou seja, para que se tenham maiores teores de COAM é necessária

uma maior taxa de decomposição dos teores de COP, isto é, uma redução dos teores de COP para elevar o COAM, que posteriormente irá formar associações com os minerais presente na fração silte e argila, dando maior estabilidade à esta fração orgânica.

A constatação de valores mais elevados de COAM em relação ao COP é interessante na estabilização do carbono orgânico, pois se trata de um ambiente semiárido, degradado e que sofre com o processo de desertificação. Segundo Zech *et al.* (1997), os solos das regiões tropicais seriam muito mais pobres em carbono orgânico, especialmente após a retirada das florestas, se não houvesse um processo de estabilização.

O COAM é a fração orgânica do solo com alta estabilidade, que interage com a superfície dos minerais da fração silte e argila por meio dos grupos funcionais, formando complexos organominerais estáveis que protege o carbono orgânico em um mecanismo de proteção coloidal (CHRISTENSEN, 1996; PARFITT *et al.*, 1997; DICK *et al.*, 2009).

O COAM é a fração da MO menos sensível a modificações no manejo do solo por ser formada por materiais recalcitrantes e protegidos em complexos organominerais, conforme destacado por Christensen (1996) e Bayer *et al.* (2004).

Os teores de COAM são estatisticamente superiores nas áreas de pousio em relação ao sobrepastejo (Tabela 9), sendo 6,98 g kg<sup>-1</sup> (166,2%) e 16,01 g kg<sup>-1</sup> (242,2%) a mais nas áreas de pousio 1 e 2, respectivamente. Esse aumento ocorre em função do maior aporte de biomassa vegetal, devido à ausência de pastejo nas áreas de pousio, que reflete nos maiores teores de COP, que segundo Chan *et al.* (2001) e Figueiredo *et al.* (2010), precisar ser decomposto para formar o COAM (Tabela 9).

Carmo *et al.* (2012), estudando as frações granulométricas do carbono orgânico em Latossolo sob plantio direto com gramíneas, observaram que os efeitos foram mais pronunciados nas camadas superficiais do solo, ocorrendo aumento nas frações COT, COP e COAM. Diferentemente de Blanco-Canqui, Stone e Stahlman (2010), que, em um experimento de 33 anos, verificaram pouca variação nos teores de COAM.

#### 4.3.4 Atributos mineralógicos

A assembleia mineralógica dos solos estudados não sofreu influência dos diferentes usos com pousio e sobrepastejo, sendo formada essencialmente por quartzo, feldspato, mica e anfibólio na fração areia e silte, enquanto caulinita, esmectita, vermiculita, mica, feldspato e anfibólio estavam na fração argila (Tabela 10). Essa assembleia mineralógica é típica de solo

pouco intemperizado, com a presença de minerais facilmente intemperizáveis (KÄMPF; CURI; MARQUES, 2009).

A fração argila do solo nos distintos usos (pousio e sobrepastejo) possui uma assembleia mineralógica formada principalmente por filossilicatos (caulinitas, esmectitas, vermiculitas e micas) (Tabela 10). Esse grupo de minerais é responsável por grande parte da proteção da matéria orgânica no COAM, conforme pesquisadores como Martin e Haider (1986) e Theng *et al.* (1986), citados por Zech *et al.* (1997), Ransom *et al.* (1998) e Baldock e Skjemstad, (2000).

Segundo Kampf e Curi (2003), os filossilicatos são silicatos constituídos pela união de lâminas tetraedrais e octaedrais, originando camadas empilhadas sucessivamente em número variável. A união de uma lâmina tetraedral com uma lâmina octaedral forma uma camada 1:1 típica da caulinita, ao passo que a união de duas lâminas tetraedrais com uma lâmina octaedral central constitui uma camada 2:1 como nas esmectitas, vermiculitas e illita.

A proteção conferida pelos filossilicatos está relacionada com o potencial de adsorção pelas cargas desses minerais, seja dependente do pH ou permanente, área superficial específica, a estrutura em camadas e influência sobre a atividade microbiana (SAGGAR *et al.*, 1996; ZECH *et al.*, 1997; BALDOCK; SKJEMSTAD, 2000).

O potencial de adsorção pelas cargas do conjunto de minerais identificados na fração argila do solo com pousio e sobrepastejo é elevada, verificado indiretamente pela CTC na fração argila que variou de 119,27 a 131,02  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (Tabela 10), típico de minerais do tipo 2:1 (BORCHARDT, 1989; DOUGLAS, 1989; AZEVEDO, VIDAL-TORRADO, 2009), como as esmectita e vermiculita verificadas na assembleia mineralógica. O  $\Delta\text{pH}$  mostra que estas cargas são em sua maioria negativas e variaram -1,18 a -0,95 (Tabela 10). As informações da CTC na fração argila e do  $\Delta\text{pH}$  mostram o potencial de proteção que estas argilas podem oferecer ao interagirem com as cargas elétricas da matéria orgânica no COAM e, no presente caso, crescendo a importância dos cátions básicos que atuaram como uma ponte entre as cargas negativas da argila e as cargas negativas da matéria orgânica, para assim promover sua proteção (PAVINATO, ROSOLEM, 2008).

**Tabela 10** – Composição mineralógica das frações areia, silte e argila e características químicas da argila em condições de pousio e sobrepastejo, Irauçuba-CE.

Manejos	Areia	Silte	Argila	CTC argila ----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ----	ΔpH
<b>PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico vertissólico (Área 1)</b>					
Pousio	Qz; Fd; Mi; Anf	Qz; Fd; Mi; Anf	Ct; Mi; Esm; Vm; Fd	131,02	-1,16
Sobrepastoreio	Qz; Fd; Mi; Anf	Qz; Fd; Mi; Anf	Ct; Mi; Esm; Vm; Fd	119,27	-1,14
<b>PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico (Área 2)</b>					
Pousio	Qz; Fd; Mi; Anf	Qz; Fd; Mi; Anf	Ct; Mi; Esm; Vm; Fd	123,48	-1,18
Sobrepastoreio	Qz; Fd; Mi; Anf	Qz; Fd; Mi; Anf	Ct; Mi; Esm; Vm; Fd	124,44	-0,95

Qz – quartzo; Bi – biotita; Fd – feldspato; Anf – anfibólio; Mi – mica; Es – esmectita; Vm – vermiculita; Ct – caulinita.

A caulinita foi identificada na fração argila dos solos independente do uso. Contudo, seu efeito na proteção da matéria orgânica é bastante fraco (MARTIN, HAIDER (1986) *apud* ZECH *et al.*, 1997), em função de suas características estruturais, com a menor CTC (8  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e menor área superficial específica (10 a 30  $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) entre os filossilicatos, e seu elevado ponto de carga zero (PCZ) que pode determinar a CTA e CTC. Havendo assim, uma menor densidade de cargas elétricas disponíveis para interação com a matéria orgânica, por outro lado, havendo predominância de CTA não há necessidade de cátions para atuarem como uma ponte entre as cargas.

O teor de argila possui boa correlação com o teor de matéria orgânica no solo (FELLE *et al.*, 1991), porém a correlação com a área superficial específica é mais importante, pois representa a área que pode estar disponível para adsorção da matéria orgânica (BALDOCK; SKJEMSTAD, 2000). Conforme verificado por Saggar *et al.* (1996), estudando o teor de matéria orgânica em solo com mineralogia distinta cultivado com azevém, onde o teor de matéria orgânica não foi dependente do teor de argila, mas foi fortemente correlacionado com a área superficial específica, podendo em parte explicar a pouca eficiência da caulinita da proteção do COAM.

As micas, esmectitas e vermiculita identificadas na fração argila dos solos (Tabela 10), têm grande potencial para serem os principais minerais responsáveis pela proteção da matéria orgânica do COAM (Tabela 9). Essa suposição se baseia na constatação de Theng *et al.* (1986) *apud* Zech *et al.* (1997) e Baldock e Skjemstad (2000), em que a matéria orgânica pode ser protegida dentro do espaço entrecamadas, entre as folhas individuais de camadas de filossilicatos de argila e também devido as características destes minerais, com elevada CTC (50 a 150  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), elevada área superficial específica (550 a 770  $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) e carga permanente oriunda da substituição isomórfica (BORCHARDT, 1989; DOUGLAS, 1989; AZEVEDO, VIDAL-TORRADO, 2009), que permite a presença de elevada densidade de cargas elétricas negativas (Tabela 10) que podem interagir com as cargas negativas da matéria orgânica, por meio de cátions básicos que atuam como um ponte entre as cargas.

Segundo Martin e Haider (1986) *apud* Zech *et al.* (1997), a esmectita é eficiente protetora da matéria orgânica do solo. Estando relacionado com sua elevada CTC (100  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), elevada área superficial específica (620 a 770  $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) e carga permanente oriunda da substituição isomórfica nos octaedros (montmorilonita) ou tetraedros (beidelita) (BORCHARDT, 1989; AZEVEDO; VIDAL-TORRADO, 2009), possibilitando uma boa interação com a matéria orgânica e sua proteção.

A vermiculita é o argilomineral com maior CTC ( $150 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) entre os filossilicatos (DOUGLAS, 1989), possui elevada área superficial específica ( $550 \text{ a } 700 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) e carga permanente oriunda da substituição isomórfica nos tetraedros. Essas características possivelmente fazem com que a vermiculita também exerça forte proteção ao COAM.

Silveira *et al.* (2006), estudando a capacidade de adsorção da vermiculita, verificaram que as vermiculitas hidrofóbicas apresentaram uma maior capacidade de adsorção, quando comparadas às vermiculitas somente expandidas. Portanto, as vermiculitas podem ser utilizadas como adsorvente de substâncias orgânicas.

A adsorção da matéria orgânica na vermiculita pode ser mais eficiente que na esmectita (montmorilonita), pois sua substituição isomórfica ocorre nos tetraedros ( $\text{Si}^{4+}$  por  $\text{Al}^{3+}$ ), resultando em uma distribuição mais localizada da carga negativa que possibilita a formação de ligações muito forte com cátions e moléculas. Na esmectita do tipo montmorilonita, a substituição isomórfica ocorre na lâmina octaedral, dando origem a um campo elétrico mais no interior do mineral, englobando uma maior superfície, porém menos intenso (KAMPF; CURI, 2003; AZEVEDO; VIDAL-TORRADO, 2009).

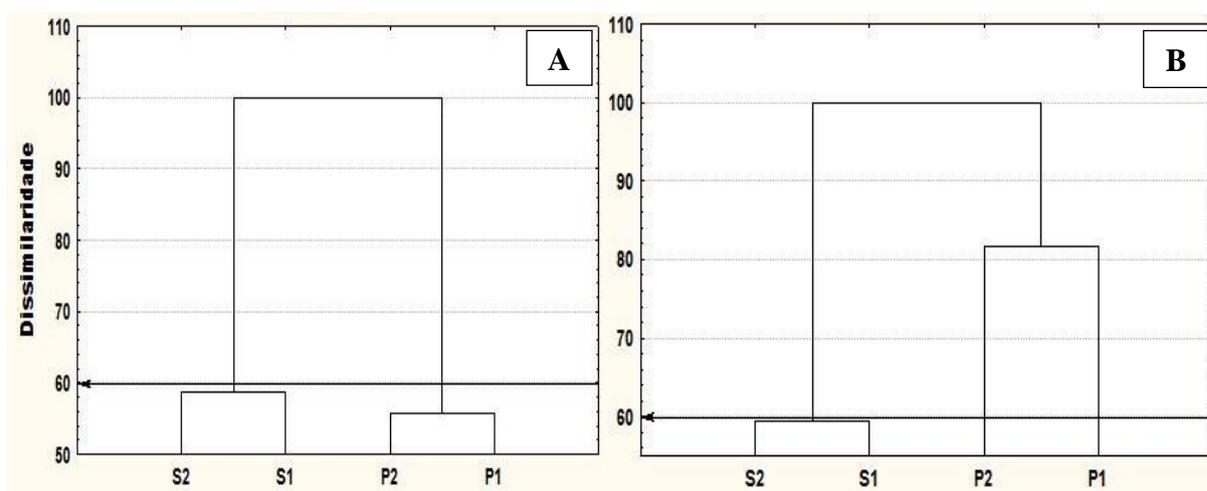
A alteração da mica pode formar vermiculita e, posteriormente, a vermiculita transforma-se em esmectita. A mica diferentemente da esmectita e vermiculita não é expansível e possui um déficit de carga na camada de  $-0,9$  a  $1,0$ , semelhante à vermiculita, porém com uma área superficial específica ( $70 \text{ a } 100 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) inferior a esmectita e vermiculita, pois não expõe a superfície entrecamadas que está fixando  $\text{K}^+$ .

#### 4.3.5 Dendrograma

A análise multivariada de agrupamento permite a formação de grupos similares homogêneos que possuem semelhança em seus atributos analisados. Na análise dos atributos químicos, observa-se a formação de dois grandes grupos distintos, um composto pelas áreas de pousio 1 e 2 e outro formado pelas áreas de sobrepastejo 1 e 2 (Figura 9 A), porém havendo maior similaridade com grupo das áreas em pousio. Nos atributos físicos também há a formação de dois grupos distintos, um com as áreas em sobrepastejo e outro com pousio (Figura 9 B). Contudo, ao aplicar um ponto de corte observa-se que continua a formação com grande similaridade do grupo com sobrepastejo e as áreas em pousio apresentam bastante distinção para os atributos físicos, mostrando que o resultado da aplicação do pousio não é uniforme.

Essa segregação de grupos mostra a distinção que existe entre as áreas com a aplicação de 13 anos de pousio, sendo a degradação das áreas em sobrepastejo responsável por sua diferenciação. No caso do manejo com pousio, a ausência de pastejo e, conseqüentemente, a possibilidade do desenvolvimento da vegetação nativa por 13 anos, modificou os atributos químicos e físicos do solo, permitindo sua distinção das áreas em sobrepastejo e a formação de grupos distintos.

**Figura 9** –Dendrograma de dissimilaridade entre os grupos estabelecida por distância euclidiana a partir dos atributos químicos (A) e físicos (B) analisados nas áreas de pousio e sobrepastejo.



Nota: P1 – pousio 1; P2 – pousio 2; S1 – sobrepastejo 1; S2 – sobrepastejo 2.

A diferença entre estes grupos tende a se tornar cada vez mais evidente, se forem levados em consideração os resultados de estudos de pesquisadores que verificaram aumento no número de espécies vegetais com o tempo de implantação do pousio (Mekuria e Veldkamp, 2012) e que a continuação do sobrepastejo nessas áreas em processo de desertificação tende a aumentar a degradação ambiental.

#### 4.4 CONCLUSÕES

A prática do pousio está conseguindo proteger o solo contra o avanço do processo de desertificação, apresentando melhores resultados em seus atributos físicos (densidade do solo, grau de flocculação, porosidade total e taxa de infiltração) e químicos (soma de bases, capacidade de troca de cátions, saturação por bases, fósforo), mas as áreas ainda estão em processo de recuperação, sendo importante manter o monitoramento dos atributos do solo para entender a dinâmica da recuperação das áreas em processo de desertificação.

As áreas em pousio apresentaram os maiores valores de carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais, sendo este último o de maior proporção no solo.

As áreas em sobrepastejo estão se tornando arenizadas com a perda de areia fina, silte e argila e quimicamente pobres.

O manejo de 13 anos pousio não alterou a assembleia mineralógica das frações areia, silte e argila em comparação com o sobrepastejo e a esmectita, vermiculita e mica são os principais responsáveis pela estabilização do carbono orgânico associado aos minerais.

## REFERÊNCIAS

- ABULE E.; SMITH, G.N; SNYMAN, H.A. The influence of woody plants and livestock grazing on grass species composition, yield and soil nutrients in the Middle Awash Valley of Ethiopia. **Journal of Arid Environments**, v.60, p.343–358, 2005.
- ALMEIDA, C.L; OLIVEIRA, J.G.B.; ARAÚJO, J.C. Impacto da recuperação de área degradada sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido. **Water Resources and Irrigation Management**, v.1, n.1, p.39-50, 2012.
- ASSEFA, D.; OBA, G.; WELADJI, R.B.; COLMAN, J.E. An assessment of restoration of biodiversity in degraded high mountain grazing lands in northern Ethiopia. **Land Degradation and Development**, v.14, p.25–38, 2003.
- AZEVEDO, A.C.; VIDAL-TORRADO, P. Esmectita, vermiculita, minerais com hidróxientrecamadas e clorita. In: Melo, V.F.; Alleoni, L.R.F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: Parte I - Conceitos básicos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. cap. 6, p. 381-426.
- BALDOCK, J.A.; SKJEMSTAD, J.O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, v.31, p. 697-710, 2000.
- BAYER, C. *et al.* Armazenamento de carbono em frações lábeis na matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L. R.; STAHLMAN, P. W. Soil response to long term cropping systems on an Argiustoll in the central great plains. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 11, n. 2, p. 602-611, 2010.
- BORCHARDT, G. Smectites. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. **Minerals in soil environments**. 2 ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989, 675-727p.
- BROWN, G.; BRINDLEY, G.W. X-ray Diffraction Procedures for clay mineral Identification. In: BRINDLEY, G.W; BROWN, G. eds. **Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification**. London: Mineralogical Society, 1980, p. 305-360.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CASTELLANO, M. J.; VALONE, T. J. Livestock, soil compaction and water infiltration rate: evaluating a potential desertification recovery mechanism. **Journal of Arid Environments**, v. 71, p. 97–108, 2007.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A. & OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxycypaleustalf under different pasture ley. **Soil Science**, New Brunswick, v. 166, p. 61-67, 2001.

CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Eds.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. CRC Press: Boca Raton, 1996. p. 97-165.

CONCEIÇÃO, P.C. *et al.* Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.777-788, 2005.

DESCHEEMAEKER, K. *et al.* Sediment deposition and pedogenesis in exclosures in the Tigray Highlands, Ethiopia. **Geoderma**, v.132, p. 291–314, 2006.

DICK, D. P. *et al.* Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F., eds. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.1-67.

DOUGLAS, L.A. Vermiculites. In: DIXON, J.B.; WEED, S. B. **Minerals in soil environments**. 2ª ed. Madison, Soil Scienc Society of America, 1989. p. 635-674.

DU, Z. *et al.* Soil Aggregate Stability and Aggregate-Associated Carbon Under Different Tillage Systems in the North China Plain. **Journal of Integrative Agriculture**, v.12, n.11, p. 2114-2123, 2013.

EBRO, A.; SNYMAN, H. A.; SMIT, G.N. Rangeland evaluation in the Middle Awash valley of Ethiopia: Relationships among soil and Vegetation variables. **Journal of Arid Environments**, v.70, p. 293–303, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª ed. rev. Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Brasília-DF, EMBRAPA, 2009. 359p.

FAO. IUSS Working Group WRB. **World reference base for soil resources**. World Soil Resources Reports N°. 103. FAO, Roma. 2006.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 66 p.

FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas (statistical analysis sotware) e planejamento de experimentos – SISVAR 5.0 (Build 67)**. Lavras: DEX/UFLA, 2003.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A.C. Frações lábeis e estáveis da matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 907-916, 2010.

FRANCHINI, J.C. *et al.* Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, v. 231, p.55-63, 2001.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME.

Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas>>. Acessado em: 05/05/2015

GALINDO, I. C. D. L. *et al.* Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no Município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1283-1296, 2008.

GONZÁLEZ-BOTELLO, M. A.; BULLOCK, S. H. Erosion-reduction cover in semi-arid shrubland. **Journal of Arid Environments**, v. 84, p. 19-25, 2012.

HE, W. Q. *et al.* Study on some factors influencing soil erosion by wind tunnel experiment in North Ectone between Agriculture and Pasture. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.18, p.1-8, 2004.

HUANG, D.; WANG, K.; WU, W. L. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China. **Journal of Arid Environments**, v.70, p.120-136, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. **Perfil Básico Municipal de Irauçuba**. Fortaleza-CE, 18p.2014.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**: Advanced course. 29. ed. Madison, 1975. 895p

JEDDI. K.; CHAIEB, M. Changes in soil properties and vegetation following livestock grazing exclusion in degraded arid environments of South Tunisia. **Flora**, v. 205, p.184–189, 2010.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. e ALVAREZV, V.H., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.1-54.

KÄMPF, N.; CURI, N. & MARQUES, J.J. Intemperismo e ocorrência de inerais no ambiente do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F., eds. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.1. p.333-371.

LAMB, D.; ERSKINE, P.D.; PARROTTA, J.A. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, v. 310, p.1628–1632, 2005.

LI, G. L.; PANG, X. M. Effect of land-use conversion on C and N distribution in aggregate fractions of soils in the southern Loess Plateau, China. **Land Use Policy**, v. 27, p.706 – 712. 2010.

LI, J. *et al.* Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA. **Biogeochemistry**, v.85, p.317 – 332. 2007.

LOSS, A. **Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no cerrado goiano**. 2011. 133f. Tese (Doutorado em Agronomia Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

LOSS, A. *et al.* Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 30, n.1, p. 43-54, 2014.

MEKURIA V. Conversion of Communal Grazing Lands into Exclosures Restored Soil Properties in the Semi-Arid Lowlands of Northern Ethiopia. **Arid Land Research and Management**, v.27, p.153–166, 2013.

MEKURIA V.; VELDKAMP, E. Restoration of native vegetation following exclosure establishment on communal grazing lands in Tigray, Ethiopia. **Applied Vegetation Science**, v.15, p. 71–83, 2012.

MEKURIA, W.; AYNEKULU, E. Exclosure land management for restoration of the soils indegraded communal grazing lands in northern Ethiopia. **Land Degradation & Development**, v. 24, p. 528–538, 2013.

MEKURIA, W. *et al.* Restoration of ecosystem carbon stocks following exclosure establishment in communal grazing lands in Tigray, Ethiopia. **Soil Science Society of America Journal**, v.75, p. 246–256, 2011.

MEKURIA, W. *et al.* Effectiveness of exclosures to restore degraded soils as a result of overgrazing in Tigray, Ethiopia. **Journal of Arid Environments**, v. 69, p. 270–284, 2007.

MELO, V. F. & WYPYCH, F. Caulinita e Haloisita. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F., eds. **Química e mineralogia do solo**; Conceitos básicos. Parte 1. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.1. p.427-504.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil**. Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília – DF, 2004. 213p.

MOORE, D.M.; REYNOLDS, R.C.X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. **New York: Oxford Univ Pr.**, 1989. 332 p.

NICOLOSO, R.S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2005. 149f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PACHÊCO, A.P.; FREIRE, N.C.F.; BORGES, U.N. A transdisciplinaridade da desertificação. Universidade Estadual de Londrina, **Revista Geografia**, v. 15, p. 5-34, 2006.

PARFITT, R. T. *et al.* Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, v.75, p.1-12, 1997.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 32, p.911-920, 2008.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 911-920, 2008.

PAVINATO, P.S. Dinâmica do fósforo no solo em função do manejo e da presença de resíduos em superfície. 2007. 145f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.

PEI, S.; FU, H.; WAN, C. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 124, p. 33-39, 2008.

PEREIRA JÚNIOR, E. B. *et al.* Impactos do pisoteio ovino nos atributos físicos do solo em área de coqueiro-anão irrigado, na região do semiárido paraibano. **Global Science Technology**, Rio Verde, v. 07, p.48 – 55, 2014.

PEREIRA, M. G. *et al.* Granulometric and humic fractions carbon stocks of soil organic matter under no-tillage system in Uberaba, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida, v. 15, n. 1, p. 1-13, 2012.

PERROUX, K.M.; WHITE, I. Designs for disc permeameters. *Soil Science Society of America Journal*, v.52, p.1205-1215, 1988.

PESSOA, C.; D.; S. **Banco de sementes no solo em uma área de caatinga em regeneração, núcleo de desertificação de irauçuba, Ceará.** 2008. 60f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2008.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. de. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água.** 2. ed. Suprema Gráfica, Viçosa, 2006.

QUEZADA, F. S., SANTIBÁÑEZ-VARNERO, P. Interacciones entre el cambio climático y la desertificación en Latino américa. In: **Mudanças climáticas e Desertificação no semiárido brasileiro.** Embrapa, 2009. p.27-39.

RADNAEV, B. L.; MIKHEEVA, A. S. Approaches to the Ecological and Economical Assessment of Desertification Processes. **Regional Research of Russia**, v.1, p. 259-263, 2011.

RANSOM, B. *et al.* Organic matter preservation on continental slopes: importance of mineralogy and surface area. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.62, p.1329 – 1345, 1998.

REEDER, J. D.; SCHUMAN, G. E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. **Environmental Pollution**, v.116, p. 457-463. 2002.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J. *et al.* Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359p.

RIBEIRO, M.R.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GALINDO, I.C.L. Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro. In: RIBEIRO, M.R. *et al.* **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa-MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.413-454, 2009.

SAGGAR, S. *et al.* <sup>14</sup>C-labelled ryegrass turnover and residence times in soils varying in clay content and mineralogy. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, p. 1677-1686, 1996.

SAMPAIO, E.V.S.B; ARAÚJO, M.S.B.; SAMPAIO, Y.S.B. Propensão à desertificação no semi-árido brasileiro. **Revista de Geografia**. Recife-PE, v.22, n.2, 67-76, 2005.

SAVADOGO, P.; SAWADOGO, L.; TIVEAU, D. Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso. Agriculture, **Ecosystem & Environment**, v.118, p.80–92, 2007.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J.E. & BREJDA, J. J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, v.164, p.224-234, 1999.

SILVA, K. B. *et al.* Influência do Pastejo Caprino sobre a Cobertura Vegetal e Atributos do Solo em Área de Caatinga no Semiárido Paraibano. **Revista Científica de Produção Animal**, v.14, n.1, p.36-38, 2012.

SILVEIRA, D. M. *et al.* Avaliação da capacidade de adsorção de vermiculita hidrofóbica em contato direto com óleo. **Revista Escola de Minas**, v.59, p.329-333, 2006.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and control. **Geoderma**, Amsterdam, v. 74, p. 65-105, 1996.

SOUSA, F. P. Degradação de solos por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação: o caso de Irauçuba, Ceará. 2009. 89 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.

SOUSA, F. P. *et al.* Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing Desertification. Agriculture, **Ecosystems and Environment**, v. 148, p. 11-21, 2012.

SU, Y. *et al.* Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. **Soil & Tillage Research**, v. 75, p. 27–36, 2004.

TRIGUEIRO, E. R. C.; OLIVEIRA, V. P. V.; BEZERRA, C.L. F. Indicadores biofísicos e a dinâmica da degradação/ desertificação no bioma Caatinga: estudo de caso no município de Tauá, Ceará. **Revista Eletrônica do Prodema**, v. 3, p. 62-82, 2009.

UNCCD. **Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação nos Países afetados por Seca Grave e ou Desertificação, particularmente na África.** Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e a Amazônia Legal. Brasília, 3<sup>a</sup> ed. 1998. 171p.

VARADACHARI, C.; MONDAL, A.H.; GHOSH, K. Some aspects of clay humus complexation: Effect of exchangeable cations and lattice charge. **Soil Science**, v. 15, n. 1, p.220-227, 1991.

YAYNESHET, T.; EIK, L.O.; MOE, S.R. The effects of exclosures in restoring degraded semi-arid vegetation in communal grazing lands in northern Ethiopia. **Journal of Arid Environments**, v.73, p.542–549, 2009.

YIMER, F.; LEDIN, S.; ABDELKADIR, A. Changes in soil organic carbon and total nitrogen contents in three adjacent land use types in the Bale Mountains, south-eastern highlands of Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, v. 242, p. 337–342, 2007.

YONG-ZHONG, S. *et al.* Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. **Catena**, v. 59, p. 267 – 278, 2005.

ZECH, W. *et al.* Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.117-161, 1997.