



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

FRANCISCO GILCIVAN MOREIRA SILVA

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DE HORIZONTES SUPERFICIAIS SOB
PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO APÓS POUSSO

FORTALEZA

2019

FRANCISCO GILCIVAN MOREIRA SILVA

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DE HORIZONTES SUPERFICIAIS SOB PROCESSO
DE DESERTIFICAÇÃO APÓS POUSSO

Dissertação 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 Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Pedologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.

FORTALEZA

2019

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)

- S58a Silva, Francisco Gilcivan Moreira.
Alterações morfológicas de horizontes superficiais sob processo de desertificação após pousio / Francisco Gilcivan Moreira Silva. – 2019.
47 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Espindola Romero.
1. Degradação do solo. 2. Compactação do solo. 3. Micromorfologia. 4. Sobrepastejo. I. Título.
CDD 631.4
-

FRANCISCO GILCIVAN MOREIRA SILVA

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DE HORIZONTES SUPERFICIAIS SOB PROCESSO
DE DESERTIFICAÇÃO APÓS POUSSO

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

Aprovada em: 26/02/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Espindola Romero (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jedson Claudio Anunciato Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Miguel Cooper
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)

A Deus.

Aos meus pais, Ivan e Anailce.

A minha mulher Régia.

A minha filha Giulia.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. Ricardo Espindola Romero, pela excelente orientação, pelos ensinamentos profissionais e, sobretudo, de vida e pela paciência.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr. Jaedson Claudio Anunciato Mota e Dr. Miguel Cooper pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos amigos que fiz nessa caminhada, em principal, Jader, Tancio, Thais e Wesley da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas, e por proporcionarem e estarem presentes em momentos marcantes na minha vida.

RESUMO

A prática de pousio é um recurso importante na recuperação de solos degradados e desertificados, mas os estudos das ações pedogenéticas nesses solos são escassos. Com isso, objetivou-se no presente estudo, analisar alterações nos horizontes superficiais A e E (devido à pequena espessura do horizonte A), de solos submetidos ao pousio em região sob processo de desertificação. Partindo da hipótese que o tempo de 13 anos de pousio foi suficiente para causar alterações nos atributos físicos (infiltração de água), morfológicos e micromorfológicos de horizontes superficiais do solo. O experimento foi conduzido em um núcleo de desertificação no município de Irauçuba, região semiárida brasileira. Para o presente estudo, foi realizada a descrição morfológica dos horizontes superficiais dos solos em campo e foram coletadas amostras indeformadas para análise micromorfológica no horizonte superficial de uma área sob pousio, excluídas de animais domésticos por 13 anos, e em uma área utilizada com pecuária extensiva de sobrepastejo. Também foram realizados testes de infiltração com 4 repetições por área. Em seguida foram confeccionadas lâminas delgadas das amostras indeformadas e, posteriormente, realizadas descrições das características micromorfológicas. O teste de infiltração foi submetido ao teste t student a 5% de probabilidade. Na análise micromorfológica foi observado valor superior de material grosso no solo em sobrepastejo, em relação ao solo sob pousio, evidenciando os processos pedogenéticos de elutriação e lessivagem, constatou-se também que o solo sob pousio apresentou porosidade de 35%, sendo maior que na área em sobrepastejo que foi de 20%. Já o teste de infiltração não apresentou diferença significativa para as médias das áreas analisadas, porém valores representados em gráficos mostram que nos instantes iniciais a infiltração de água no solo sob pousio foi superior ao do sobrepastejo, denotando porosidade maior na camada superficial do solo sob pousio, corroborando ao que foi observado na análise micromorfológica. A descrição micromorfológica confirma o que foi observado na análise morfológica, com maior destaque para o escurecimento do horizonte superficial no pousio devido ao processo de melanização decorrente da adição de matéria orgânica, responsável pela maior porosidade nesse solo. Como conclusão foi observado que o solo submetido a 13 anos de pousio apresentou alterações morfológicas e micromorfológicas em relação o solo sobrepastejado, não apresentando diferença na infiltração de água.

Palavras-chave: Degradação do solo. Compactação do solo. Sobrepastejo. Micromorfologia.

ABSTRACT

The fallow practice is an important resource in the recovery of degraded and desertified soils, but the studies of pedogenetic actions in these soils are scarce. Thus, the objective of this study was to analyze changes in the surface horizons of soils submitted to fallow in a region under desertification process. Based on the hypothesis that the time of 13 years of fallow was enough to cause changes in the physical attributes (water infiltration), morphological and micromorphological attributes of the soil surface horizons. The experiment was carried out in a nucleus of desertification in the municipality of Irauçuba, semi-arid region of Brazil. For the present study, the morphological description of the surface horizons of the soils in the field was first carried out, then undisturbed samples were collected for micromorphological analysis of the surface horizon of a fallow area, excluded from domestic animals for 13 years, and in an area used with Extensive overgrazing livestock. Infiltration tests with 4 replicates per area were also performed. Then, thin slides of the undisturbed samples were made and descriptions of the micromorphological characteristics were made. The infiltration test was submitted to Student's t test at 5% probability. In the micromorphological analysis, a higher value of coarse material was observed in the soil in an overpass, in relation to the soil under fallow, evidencing the pedogenetic processes of elutriation and lowering, it was also verified that the soil under fallow presented porosity of 35%, being greater than in the area in excess of 20%. The infiltration test did not present a significant difference for the averages of the analyzed areas, but values represented in graphs show that in the initial instants the infiltration of water in the fallow soil was superior to the one of the overpass, denoting greater porosity in the superficial layer of the soil under fallow, corroborating what was observed in the micromorphological analysis. The morphological description also confirms what was observed in the micromorphological analysis, with greater emphasis on the darkening of the surface horizon in the fallow due to the melanization process due to the addition of organic matter, responsible for the greater porosity in this soil. As conclusion, it was observed that the soil submitted to 13 years of fallow presented morphological and micromorphological changes in relation to the overgrazed soil, presenting no difference in water infiltration.

Keywords: Soil degradation. Soil compaction. Overgrazing. Micromorphology.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Localização do município de Irauçuba, Ceará 24
- Figura 2 – Fotografia mostrando contraste da área em pousio e sobrepastejo, na estação seca, no município de Irauçuba, Ceará 25
- Figura 3 – Perfil do solo sob pousio com sequência de horizontes A, E e Bt (a), horizonte A do solo em sobrepastejo(b) 29
- Figura 4 – Fotomicrografias mostrando: padrão de distribuição relacionado (PDR) do tipo quitônica, enáulica e porfírica, com pequeno revestimento de óxidos de ferro em algumas partículas de quartzo na luz normal (I) e na luz polarizada (II), um mineral de microclina se decompondo (III), uma massa de material fino preenchendo poros (IV), um grão de plagioclásio sendo atacado por ferro (V), a ausência de fábrica birrefringente na luz polarizada e um grão de quartzo com fissuras (VI), e ainda a distribuição de poros utilizando luz negra (VII e VIII) no horizonte AE de um Planossolo sobrepastejado em área de desertificação 34
- Figura 5 – Fotomicrografias mostrando: padrão de distribuição relacionado (PDR) do tipo quitônica, enáulica e porfírica, com resíduos orgânicos que parece ser vestígios de uma raiz (I e II), um nódulo de ferro (III), plagioclásio em elevado grau de alteração (IV), nódulo de ferro com partículas de quartzo em seu interior caracterizando o processo de plintização na luz polarizada (V), a ausência de fábrica birrefringente na luz polarizada (VI), alguns poros e bioporos em canais provavelmente ocasionado por raízes na luz negra (VII e VIII) no horizonte AE de um Planossolo sob pousio em área de desertificação 35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Infiltração acumulada (mm) (a), e infiltração instantânea (mm min^{-1}) (b) de um Planossolo Nátrico submetido a dois sistemas de manejo de acordo com o tempo	31
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição morfológica de horizontes superficiais de Planossolo sob pousio e em sobrepastejo de uma área sob processo de desertificação no município de Irauçuba	30
Tabela 2 – Atributos físicos e carbono orgânico total do solo sob condição de pousio e sobrepastejo em áreas em processo de desertificação no município de Irauçuba-CE	30
Tabela 3 – Descrição micromorfológica de Planossolos em sistema de sobrepastejo e sob prática de pousio em Irauçuba, CE	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	HIPÓTESE	13
3	OBJETIVO	13
3.1	Objetivo geral	13
3.2	Objetivos específicos	13
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1	Desertificação e solos degradados	14
4.2	Influência do sobrepastejo	16
4.2.1	<i>Na cobertura vegetal</i>	16
4.2.2	<i>No solo</i>	17
4.2.3	<i>Na matéria orgânica do solo</i>	18
4.2.4	<i>Na infiltração de água no solo</i>	20
4.3	Planossolos	20
4.4	Micromorfologia	22
5	MATERIAL E MÉTODOS	23
5.1	Local e caracterização da área de estudo	23
5.2	Análises granulométricas e carbono orgânico total	25
5.3	Coleta das amostra	25
5.4	Teste de infiltração de água	26
5.5	Análise micromorfológica	27
5.5.1	<i>Impregnação das amostras</i>	27
5.5.2	<i>Descrição das lâminas</i>	27
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6.1	Atributos morfológicos	27
6.2	Infiltração de água no solo	30
6.3	Análise micromorfológica	33
7	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A intensa exploração dos recursos naturais no mundo vem acentuando o processo de degradação ambiental. Processo este que muitas vezes é fruto de um mau planejamento, causando sérios impactos na vegetação e nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, acarretando na exaustão dos ecossistemas.

A degradação do solo, em termos de uso da terra, significa redução ou perda da biodiversidade e da produtividade, aumentando a taxa de erosão e reduzindo a habilidade de produzir de forma sustentável. Uma das causas da degradação é o sobrepastejo, ocasionando perda da biodiversidade vegetal pela pressão do ramoneio e compactação do solo pelo pisoteio excessivo dos animais, acarretando implicações ao solo nas propriedades físicas, químicas e biológicas, comprometendo assim a sustentabilidade do agrossistema.

Documentos da Organização das Nações Unidas (ONU) para a alimentação e agricultura revelam que 33% dos solos do mundo estão degradados, destacando que erosão, salinização, compactação, acidificação e contaminação estão entre os principais problemas causadores dessa degradação. Contudo, na América Latina a situação é muito preocupante, pois, cerca de 50 % dos solos locais sofrem algum tipo de degradação. No Brasil, a erosão, a perda de carbono orgânico e o desequilíbrio de nutrientes são os principais problemas (FAO, 2015).

A degradação do solo em alguns casos pode culminar em desertificação, sendo resultado de sucessivas modificações regressivas dos solos, da vegetação e do regime hídrico, ocasionando à deterioração biológica dos ecossistemas, devido a pressões exercidas por fatores climáticos e por atividades antrópicas, em ações conjuntas ou separadas. Os processos de degradação/desertificação afetam seriamente uma porção do Nordeste semiárido brasileiro, alcançando diversos níveis de degradação de seus solos, vegetação e recursos hídricos, apresentando maior intensidade nos 18.743,5 km² distribuídos entre as regiões de Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (RN/PB) e Cabrobó (PE) (LUSTOSA; SIGOLO; NASCIMENTO, 2015).

A grande extensão de áreas degradadas nessas regiões denota a necessidade de adoção de práticas de recuperação, destacando-se a do pousio, por ser uma técnica que requer baixo investimento. Nessa prática, o fator mais relevante de recuperação da qualidade do solo e da cobertura vegetal é a própria capacidade de resiliência do solo. Contudo, estudos já foram realizados mostrando o efeito da prática na recuperação de solos, porém, o cenário científico atual utiliza na maioria das vezes análises físicas e químicas para obter resultados,

apresentando grande escassez de estudos voltados a análises micromorfológicas.

Nesse contexto, destaca-se que a micromorfologia pode ser utilizada para se observar mudanças na estrutura e porosidade do solo de uma forma mais detalhada, por ser uma técnica que se destina ao estudo das feições microscópicas, também chamadas de micro feições do solo, ou microestruturas, pois trabalha com constituintes e organizações em escalas milimétricas e micrométricas. A técnica abrange o estudo detalhado dos constituintes e componentes dos horizontes de solo, além de suas relações, seu grau de preservação diante das adições ou perdas, colaborando para importantes deduções a respeito dos processos pedológicos envolvidos, decorrentes de processos naturais ou induzidos pelos usos e, ou, manejos (CASTRO *et al.* 2003).

No estado do Ceará, a região de Irauçuba foi reconhecida como Núcleo de Desertificação e, nessa área, observa-se a predominância de sobrepastejo. Dessa forma, o presente estudo propõe testar a hipótese de que o período de 13 anos de pousio foi suficiente para promover alterações na estrutura e porosidade do solo.

Deste modo, o objetivo do trabalho foi avaliar, em Planossolos degradados localizados em áreas sob processo de desertificação, características morfológicas, micromorfológicas e físicas (porosidade e infiltração) de um solo submetido à prática de pousio por 13 anos e outro sem a interferência da prática.

O presente estudo foi elaborado com o intuito de promover o entendimento sobre o comportamento dos solos sob processo de desertificação, ressaltando a importância da técnica da micromorfologia, sendo capaz de incorporar informações que identifiquem o estado do recurso natural solo.

2 HIPÓTESE

Sabendo-se que práticas de manejo têm efeito no desenvolvimento dos solos, pressupõe-se que Planossolos degradados em processo de desertificação, quando submetidos a um período de pousio de 13 anos, apresentarão em relação à Planossolos sem o uso da prática: (i) morfologia distinta; (ii) maior porosidade nos Planossolos submetidos à prática de pousio, e conseqüentemente maior infiltração de água.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

Estudar características morfológicas, micromorfológicas e físicas (porosidade e infiltração) de um Planossolo submetido à prática de pousio durante 13 anos e outro sem a interferência da prática, ambos em uma região sob processo de desertificação.

3.2 Objetivos específicos

Realizar análise descritiva de alterações nos atributos estrutura e porosidade de horizontes superficiais do solo por meio da técnica da micromorfologia.

Avaliar se houve mudanças nos atributos morfológicos e na taxa de infiltração nos horizontes superficiais dos solos.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Desertificação e solos degradados

O solo é um importante recurso natural, que pode ser degradado se utilizado de forma irracional. Em muitos casos os processos de degradação estão relacionados com a utilização pelos agricultores de modelos agrícolas sem planejamento e gerenciamento adequados, tendo como efeito, a redução da qualidade de vida da população e da economia, comprometendo o desenvolvimento sustentável (SILVA; SILVA, 2015)

O planeta Terra apresenta 41% de sua cobertura terrestre sobre regiões de terras secas (drylands). Dentre essas, aproximadamente 10 a 20% dessas regiões estão sofrendo processos de degradação (REYNOLDS, 2007). E com base nesse cenário, dados da ONU publicados em 2018, indicam que cerca de 2 bilhões de hectares de terra estão sofrendo com a degradação, afetando 3,2 bilhões de pessoas que habitam nesses lugares (ONU News, 2018). Este fenômeno já ocorre em grande escala nos países da América Latina e Caribe, o que denota ser um fato preocupante tanto no contexto ambiental quanto no social (QUEZADA; SANTIBÁNEZ, 2009).

De acordo com o manual de Diretrizes para Recuperação de Áreas Degradadas (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 1990), degradação ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada, e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados, juntamente com a inviabilização socioeconômica da área, podendo ocorrer em função do manejo inadequado e, em certas situações, levar ao processo de desertificação.

Devido às alterações provocadas pela degradação da vegetação e do solo, a Caatinga apresenta grandes extensões de terras afetadas pela desertificação, sendo esse bioma o terceiro mais degradado do Brasil, ficando atrás apenas da Floresta Atlântica e do Cerrado (SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015). Com cerca de 80% da vegetação completamente modificada, seja devido ao extrativismo ou à agropecuária, apresentando, em sua maioria, áreas em estádios iniciais ou intermediários de sucessão ecológica (ARAÚJO FILHO, 2013).

A intensa exploração dos recursos naturais e o uso inadequado das terras, sem considerar suas potencialidades e limitações, são os principais fatores que estão conduzindo à degradação ambiental na Área Suscetível à Desertificação do Brasil. Simultaneamente a essa realidade somam-se os impactos da variabilidade e de mudanças climáticas (CGEE, 2016).

Dentre as diversas causas, a mais relevante para a degradação da vegetação e desertificação em regiões semiáridas é o sobrepastejo, pois a pressão de pastejo pode impossibilitar o restabelecimento da vegetação que já está debilitada pelos fatores ambientais (ARAÚJO FILHO, 2013). Portanto esse fenômeno é decorrente da junção de práticas inadequadas de uso da terra, atividades agropastoris, além da relação com condições climáticas desfavoráveis e secas consecutivas (ARAÚJO; SOUZA, 2017).

Um dos maiores impactos da desertificação é a perda da biodiversidade e da capacidade dos solos serem usados para a agricultura. Segundo a FAO, em 2011, mais de 200 milhões de pessoas estavam sendo afetadas pela desertificação e cerca de 1 bilhão estavam em risco de começarem a ser prejudicadas por esses processos de degradação do solo. Contudo, populações do Brasil já começaram a ser prejudicadas por tamanhos impactos, principalmente na região Nordeste, onde o bioma caatinga predomina.

Com a retirada intensa de grandes áreas de Caatinga causada pela desertificação, a temperatura dos solos aumenta bastante, o que pode prejudicar o restabelecimento da vegetação. Isto devido à temperatura do solo afetar diretamente a umidade, aeração, estrutura, microorganismos, a taxa de decomposição dos resíduos vegetais e a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas, tornando-se um dos fatores primordiais para o crescimento das espécies vegetais (SOUZA; MACÊDO; SILVA, 2015).

Para ser tomada alguma decisão de recuperação essas áreas precisam ser identificadas e foi nesse contexto que, na tentativa de formular indicadores comuns a serem usados para mensurar processos de desertificação, está sendo implementado no continente sul-americano o Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, elaborando uma base sólida para a identificação de zonas áridas degradadas e secas na Argentina, no Brasil, na Bolívia, no Chile, no Equador e no Peru, segundo as diretrizes da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (ARAÚJO; SOUZA, 2017).

De acordo com Ceará (2010), a desertificação atinge cerca de 180.000 Km² de área do semiárido brasileiro. Mostrando que tal fato merece atenção redobrada, já que implica em uma série de alterações no meio, como o desaparecimento irreversível de algumas espécies vegetais, além de uma intensificação dos processos morfogênicos que na maioria das vezes prevalecem sobre as ações pedogenéticas.

No Ceará a área susceptível ao processo de desertificação (ASD) atinge cerca de 14% de seu território, afetando principalmente o município de Irauçuba e a região dos Inhamuns e do médio Jaguaribe, segundo Soares *et al.* (1995). Destacando-se Irauçuba por ser a região mais afetada em relação às demais, devido não apenas à ação antrópica e climática,

mas também à classe dos Planossolos que recobre boa parte da região (FERREIRA *et al.*, 2018) e por ser referência de diversos estudos, apresentando experiências que podem ser utilizadas como modelo para outras localidades do país, inclusive de outras ASD (SILVA; PACHECO, 2016).

4.2 Influência do sobrepastejo

O processo de desertificação é resultante de um conjunto de fatores e dentre estes destaca-se o sobrepastejo, afetando diretamente a cobertura vegetal, o solo e a matéria orgânica. Nesse tipo de cultivo, grande quantidade de animais compactam o solo pastando e consumindo vegetação, resultando na remoção da cobertura do solo, e conseqüentemente no escoamento e perdas de solo e nutrientes através da erosão (REYNOLDS *et al.*, 2007). O sobrepastejo é causado em situações de exposição das plantas ao pastoreio intensivo por longos períodos, ou até mesmo em curtos períodos onde o tempo é suficiente para permitir a recuperação ambiental (FERREIRA *et al.* 2018).

O uso agrícola normamente é o precursor da degradação em áreas de clima seco, pois são terras ambientalmente frágeis. Nessas áreas a capacidade de suporte para a pecuária é geralmente baixa e quando excedidas, como é o caso do sobrepastejo, inicia-se os 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, resultando em intensa degradação e por vezes a desertificação (RIBEIRO; SAMPAIO; GALINDO, 2009).

4.2.1 Na cobertura vegetal

Ao longo do tempo, o planeta vem sofrendo com as transformações do meio ambiente decorrentes da agropecuária, tais como desmatamento, expansão da fronteira agrícola, queimadas, poluição por dejetos animais e agrotóxicos, erosão e degradação dos solos, contaminação da água e desertificação, resultando em sérios danos às espécies nativas (LEITE *et al.*, 2011).

No semiárido brasileiro, a pecuária destaca-se como importante atividade econômica, sendo, porém, limitada pelas condições climáticas. Essa atividade explora principalmente a pastagem nativa e apresenta baixa produtividade (GIONGO, 2011). A situação em Irauçuba é semelhante ao do restante do semiárido brasileiro, pois a pecuária

destaca-se como a atividade mais importante da região. Isto devido à presença de extensas áreas sob caatinga do tipo savana, com cobertura herbácea de excelente potencial forrageiro. Sendo, portanto, a ocupação da área municipal de 12,4% usados para produção agrícola, 67,1% para a pecuária e os 20,5% restantes são recobertos por matas (ARAÚJO FILHO; SILVA, 2015).

A demanda de mercado é a principal origem das causas dos impactos da agricultura e da pecuária sobre o ambiente, e suas consequências implicam em custos ambientais e ecológicos de difícil mensuração. No intuito de se promover o desenvolvimento de uma agropecuária sustentável é necessário conscientizar o agricultor e o pecuarista sobre a conservação do ambiente. E embora impactos ambientais decorrentes dessas atividades sejam inevitáveis, a exploração agrícola, se devidamente planejada, otimiza os impactos positivos e minimiza os impactos negativos, apresentando ganhos efetivos tanto para o meio biofísico como para a dimensão socioeconômica (ARAÚJO, 2010).

O processo de desertificação que afeta regiões semiáridas é precursor de inúmeras pesquisas desde a metade do século XX, relacionando parâmetros como estabilidade e a resiliência de vegetação. As tentativas de restauração envolveram principalmente a exclusão dos animais domésticos, porém a recuperação da vegetação típica da área não foi observada de forma significativa em pouco tempo, sendo na maioria das vezes identificada após 20 anos de remoção dos animais domésticos, devido, justamente ao fato da baixa capacidade de resiliência da vegetação (VALONE; SAUTER, 2005; PEI *et al.*, 2007; ZHAO *et al.*, 2007).

Em estudos com áreas de exclusão de animais domésticos na China, Su *et al.* (2004) e Yong-Zhong *et al.* (2005) verificaram um aumento de 2,7 e 3,4 vezes das áreas cobertas com vegetação em 5 e 10 anos de exclusão, respectivamente, em comparação com uma área de pastejo contínuo. Huang *et al.* (2007), também em regiões de semiárido, constataram um aumento de diversidade vegetal em um período de 17 anos de exclusão, pois, o número de espécies por m² passou de 16 para 22, enquanto em áreas com pastejo diminuiu de 16 para 7 espécies por m², o que consiste em uma redução de 56%.

4.2.2 No solo

A produção agropecuária causa diversos danos ambientais, principalmente em áreas de maior incidência de secas no Brasil, considerada um dos principais fatores de desertificação, pois, além do desmatamento, causa a compactação do solo. Resultando de uma pressão mecânica (neste caso, o pisoteio dos animais), na qual reduz os espaços vazios entre

as partículas de solo, destruindo sua estrutura, tornando difícil a penetração das raízes e diminuindo a capacidade de armazenamento de água, o arejamento, a fertilidade, a atividade biológica e a estabilidade dos agregados. Condição a qual proporciona a diminuição da infiltração da água das chuvas, aumentando o risco de erosão. Sendo essa situação comprovada em alguns trabalhos realizados (ROXO, 2006).

Analisando a textura do solo, Su *et al.* (2004), Yong-Zhong *et al.* (2005) e Pei *et al.* (2007), em estudos realizados no semiárido chinês, verificaram que o percentual de areia aumentou 4,4 %, havendo uma diminuição de silte e argila na camada superficial (15 cm) na área de pastejo contínuo, conseqüentemente contribuindo para um aumento da densidade do solo quando comparadas às áreas de exclusão. A redução da densidade do solo em situação de pousio em relação a áreas de sobrepastejo também foi observada por Ferreira (2015), trabalhando no semiárido brasileiro.

A distribuição por tamanho das partículas do solo, no semiárido chinês, indicou que o processo de desertificação aumentou a remoção de partículas dos solos, resultando em uma textura mais grosseira (HUANG *et al.*, 2007; PEI *et al.*, 2007). A erosão do solo é a causa principal para mudanças na composição granulométrica do solo (HE *et al.*, 2004), sendo muito influenciada pelo sobrepastejo de animais. Esses autores verificaram, também, uma redução de 60,1 % da compactação na área de exclusão.

Estudos de Allington e Valone (2010) mostram que em uma área de exclusão de animais, com ausência de atividade antrópica por mais de 20 anos, foi possível recuperar áreas desertificadas, devido ao aumento da cobertura do solo com gramínea perene. As propriedades químicas e físicas do solo podem se recuperar o suficiente para suportar o restabelecimento de plantas perenes. Contudo, regiões desertificadas podem obter vantagens com esforços de restauração devido à redução da compactação do solo com o incremento de matéria orgânica, resultando tanto em aumento da infiltração de água, quanto do teor de nutrientes.

4.2.3 Na matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo, de uma forma geral, refere-se a vasta gama de materiais orgânicos presentes no solo, incluindo organismos vivos e mortos. Porém, na maioria das vezes está associada a organismos mortos. Por esse motivo é classificada em dois tipos, a matéria orgânica decomposta e mais estável chamada húmus, e a bruta (em estágio inicial de decomposição) (LEPSCH, 2011). E independente do estágio de decomposição a

quantidade de matéria orgânica no solo é afetada diretamente pelo sobrepastejo, seja pelo incremento com dejetos animais, ou pela redução substancial da vegetação que, por sua vez, é a principal fonte de matéria orgânica, necessitando assim de práticas de recuperação.

Dentre os objetivos da recuperação de uma área degradada destaca-se a recomposição da matéria orgânica do solo. Pois, para que se restabeleça a funcionalidade do ecossistema, é necessária a revitalização da biologia do solo, sendo esta, primordial para circulação de nutrientes. Ademais, o aumento da matéria orgânica e a formação de uma cobertura morta na camada superficial do solo o protegerão contra processos erosivos e melhorarão sua capacidade de retenção de água (ARAÚJO FILHO; SILVA, 2015).

No final de 17 anos, Huang *et al.* (2007), em estudo realizado em uma área sob desertificação no norte da China, constataram um aumento da matéria orgânica do solo (MOS) na camada de 0-30 cm de 89,3% na área de exclusão, sendo mais acentuada na parte mais superficial. Já na camada de 0-15 cm, da área de pastejo contínuo, os índices de C orgânico e N totais diminuíram em 65% e 69%, respectivamente. O fósforo total (P) do solo diminuiu gradativamente e o declínio não foi tão acentuado como o do C orgânico e o N. Embora o semiárido chinês apresente em geral características diferentes do semiárido brasileiro, a comparação é realizada por serem áreas sob processo de desertificação.

Sousa *et al.* (2012), trabalhando em semiárido brasileiro mostram em sua pesquisa que o sistema de pastoreio pode causar modificações nos solos, destacando a redução da matéria orgânica. Assim, o sistema de pousio propicia um aumento nos teores de carbono orgânico na fração lábil e fração húmica, indicando alterações notáveis no aumento de matéria orgânica.

Segundo Brady e Weill (2013), práticas que visam reduzir as perdas de carbono ou aumento das taxas de carbono em ecossistemas agrícolas resultam em um melhor controle da erosão do solo e o uso de cultivos conservacionistas, como a prática de pousio. Com o passar do tempo esses solos tendem a apresentar uma melhor qualidade física, química e biológica, favorecendo uma maior produtividade das culturas e a conservação do ambiente.

As substâncias orgânicas solúveis apresentam importante função, inclusive na pedogênese, podendo formar complexos com as frações inorgânicas do solo, sendo fortemente adsorvidas pelos argilominerálias e óxidos de ferro e alumínio, capazes até de formar compostos presentes na solução do solo (DAVIS, 1982 *apud* MELO; SCHAEFER, 2009), por meio de interações químicas. Interações essas em que as moléculas orgânicas, através de grupos funcionais com os constituintes minerais do solo, contribuem para a formação de horizonte e suas propriedades (CANELLAS *et.al.*, 1999).

4.2.4 Na infiltração de água no solo

Atributos físicos são comumente utilizados na investigação de alterações da qualidade do solo (REICHERT *et al.*, 2007). Um parâmetro relevante a ser avaliado no solo é a infiltração básica, por ser uma das características mais sensíveis para detectar alterações no sistema de cultivo e manejo do solo (VILARINHO *et al.*, 2013).

Segundo Brandão *et al.* (2009), infiltração é o processo em que a água depositada na superfície do solo penetra para seu interior. No ciclo hidrológico a infiltração apresenta papel crucial, pois através desse processo a água vai sendo estocada e disponibilizada para as culturas, além de recarregar aquíferos e lençóis freáticos, refletindo também no escoamento superficial (CECÍLIO *et al.*, 2003). Além de ser extremamente importante para diversos processos pedogenéticos envolvidos nos solos, como lessivagem, eluviação, iluviação, elutriação, etc.

A taxa de infiltração de água no solo é um dos principais indicadores de estruturação, agregação e transformação do material de origem (rocha), influenciando também na melhoria da capacidade de suporte do solo, favorecendo as colonizações espontâneas das espécies, propiciando a reconstrução do ecossistema. Contudo, a infiltração aumenta com maior incremento de matéria orgânica no solo, acontecendo o inverso em solo exposto, ou seja, sem matéria orgânica (MARCHINI *et al.* 2015).

Segundo Bonini *et al.* (2016), a infiltração de água no solo é maior em vegetação nativa do que em uma área explorada pela agricultura, pois na vegetação nativa a qualidade física do solo é melhor, conseqüentemente apresenta maior porosidade e menor densidade do solo, resultado da presença de matéria orgânica que é depositada na superfície do solo. Valores altos do infiltração de água indicam que a drenagem nestes sistemas é adequado, o que reduz os processos erosivos (ROCHA *et al.*, 2016).

A compactação do solo torna-o mais adensado e, conseqüentemente, com menor porosidade e menor taxa de infiltração. Segundo Santos *et al.* (2014), a taxa de infiltração de água e a infiltração acumulada são afetadas diretamente pela compactação resultante do manejo combinada com a distribuição das partículas do solo, ou da granulometria do solo, devido a porosidade reduzida.

4.3 Planossolos

Na região Nordeste existe quatro sub-regiões diretamente dependentes do tipo de

clima, que são: Meio Norte (parte do Leste do Maranhão e oeste do Piauí); a Zona da Mata (dezenas de quilômetros de estreita faixa litorânea); o Sertão (compreendendo as terras do semiárido, que vai do Piauí até o norte de Minas Gerais); e o Agreste (faixa intermediária entre a Zona da Mata e o Sertão), todas se diferenciando quanto ao tipo de solo, devido à ação dos fatores de formação distintos (LEPSCH, 2011).

A área de ocorrência dos Planossolos assume, na região do semiárido do Brasil, grande importância econômica, tanto pela sua magnitude de ocupação, compreendendo aproximadamente 78.500 km², o que significa 10,5% da região semiárida, quanto pela sua utilização intensiva (FILHO *et al.*, 2006). Embora possuam, na sua maioria, condições de fertilidade natural de razoáveis a boas, são solos que apresentam fortes limitações ao uso agrícola em decorrência principalmente das altas concentrações de sódio trocável, más condições físicas e susceptibilidade a erosão.

Considerando-se o adensamento natural no horizonte subsuperficial (B) desses solos, devido as suas propriedades pedogenéticas, práticas como a de subsolagem não é o suficiente para desfazer esse horizonte adensado. Outra limitação para o uso desses solos está na natureza física do horizonte subsuperficial que é bastante duro, quando seco, impedindo a penetração das raízes e da água, geralmente acumulando água na superfície, facilitando o acúmulo de sais (SOUSA *et al.*, 2013).

Os Planossolos ocorrem predominantemente em áreas de relevo plano ou suave ondulado onde o ambiente e as características desses solos favorecem um acúmulo de água em determinado período de tempo durante o ano, mesmo que esse período seja curto, devido à concentração de chuva em poucos meses, principalmente em regiões onde ocorrem longo tempo de estiagem, e até mesmo em regiões de clima árido (EMBRAPA, 2018).

Com base no diagnóstico geoambiental do município de Irauçuba, elaborado por Brandão *et al.* (2003), há algumas diferenças nas associações de solos quando comparadas àquelas do Radambrasil (BRASIL, 1981), apesar dos tipos de solos serem os mesmos. Faz-se necessário ressaltar, também, a ocorrência de associações de Planossolos que ocorrem em subcompartimentos da depressão sertaneja, culminando em depressões com pequenos desníveis, mapeadas pelo Radambrasil como áreas inundáveis (SALES, 2015).

No município de Irauçuba, predominam três tipos de solos: Luvisolos, com 43,2% de cobertura; Planossolos, com 18,7%; e Neossolos Litólicos, com 33,2%, totalizando uma área de 95,1% do município. É possível afirmar que as atividades de lavoura são concentradas principalmente nos Luvisolos e nos Neossolos Litólicos, enquanto que as de pecuária, nos Planossolos e nos Luvisolos (ARAÚJO FILHO; SILVA, 2015).

Nesta região, a classe dos Planossolos se destaca por abranger boa parte de seu território e apresentar limitações físicas evidentes. Sendo definidos pela presença de horizonte B plânico, subsequente a qualquer tipo de horizonte A, podendo ou não apresentar horizonte E (álbico ou não). Na maioria das vezes são adensados devido ao acúmulo de argila em subsuperfície, podendo apresentar horizonte cálcico, caráter carbonático, duripã, propriedade sódica, solódica, caráter salino ou sálico (EMBRAPA, 2018).

A classe dos Planossolos normalmente apresenta acúmulo de sódio na superfície do perfil, caracterizando assim, em segundo nível categórico, os Planossolos nátricos. Esse alto teor de sódio promove a dispersão das argilas que, aliadas a alta quantidade de silte, sofrem ação do impacto das gotas da chuva e da irrigação, sobretudo em áreas sem cobertura vegetal intensa, onde haverá preenchimento dos espaços porosos do solo, podendo provocar o selamento da camada superficial deste (GUERRA, 2007).

O selamento ocorre predominantemente em áreas desmatadas como é o caso das áreas desertificadas, onde as partículas mais finas são carregadas no processo de elutriação e depositadas nas regiões mais baixas, formando uma crosta superficial quando secam. Segundo Guerra (2007), este fenômeno diminui a infiltração de água acarretando o início do escoamento superficial e do processo de erosão, que, em casos mais extremos, resultará em uma perda massiva de solo.

Uma das estratégias para a redução da degradação e conseqüentemente da perda de solo por erosão é a prática do pousio. Segundo Mendes *et al.* (2011), trabalhando em duas áreas de cultivo e uma sob prática de pousio durante 3 anos, as áreas de pousio apresentaram menores quantidades de perda de solo em relação as outras, devido à maior proteção do solo condicionado pelas espécies florestais.

4.4 Micromorfologia

Conhecida também como micropedologia, esta técnica foi introduzida principalmente por Kubiena em 1938, sendo considerado pioneiro em estudos de lâminas delgadas na pedologia. A partir dessa época diversos pesquisadores realizaram estudos específicos sobre determinadas feições do solo, nos quais a microscopia foi imprescindível para demonstrar a ocorrência desses processos (CASTRO, 2008).

De forma geral, a micromorfologia tem como objetivos fundamentais identificar os constituintes dos solos nas diferentes frações, definirem as relações existentes entre eles e formular hipóteses ou demonstrações a respeito da dinâmica genética e evolutiva dos solos, na

ânsia de esclarecer as controvérsias sobre sua origem, evolução e comportamento, a partir de características micrométricas observadas (CASTRO *et al.*, 2003).

Dentre as diversas finalidades da micromorfologia destaca-se a verificação do adensamento do solo, que afeta vários solos do Brasil, inclusive na região Nordeste. Esse adensamento pode ser consequência de processos pedogenéticos, ou através de deposições de sedimentos, acarretando aumentos na densidade do solo, restrições físicas à penetração de raízes e infiltração de água, aumentando a erosão e, conseqüentemente, diminuição da produtividade agrícola (SILVA *et al.*, 2012).

Solos da região de estudo apresentam compactação causada pelo sobrepatejo, resultando em diversas implicações, afetando principalmente a infiltração de água, visto que, o movimento de água no solo é mais dependente da estrutura do que da textura do solo, devido principalmente ao arranjo de poros (AHUJA *et al.*, 1984). No entanto, com auxílio das técnicas de processamento e análise digital de imagem, a micromorfologia pode fornecer resultados de porosidade e permeabilidade com precisão, possibilitando a visualização das alterações estruturais causadas pela compactação e adensamento do solo com uma maior riqueza de detalhes (CASTRO *et al.*, 2003).

Em estudo realizado na região de Irauçuba foram avaliadas as organizações do solo pelo estudo de três topossequências, nas quais permitiram identificar, na escala da paisagem os sistemas Argissolo com nódulos ferruginosos e sistemas de solos litodependentes: Luvisolo e Planossolo (LUSTOSA; SIGOLO; NASCIMENTO, 2015), no entanto, não foram realizados estudos sobre adensamento ou compactação em horizontes superficiais nessas áreas.

Contudo ressalta-se a importância da micromorfologia por ser uma técnica que permite ampliar o conhecimento sobre a origem e desenvolvimento de processos atuantes na estrutura do solo (COOPER *et al.*, 2005).

5 MATERIAL E MÉTODOS

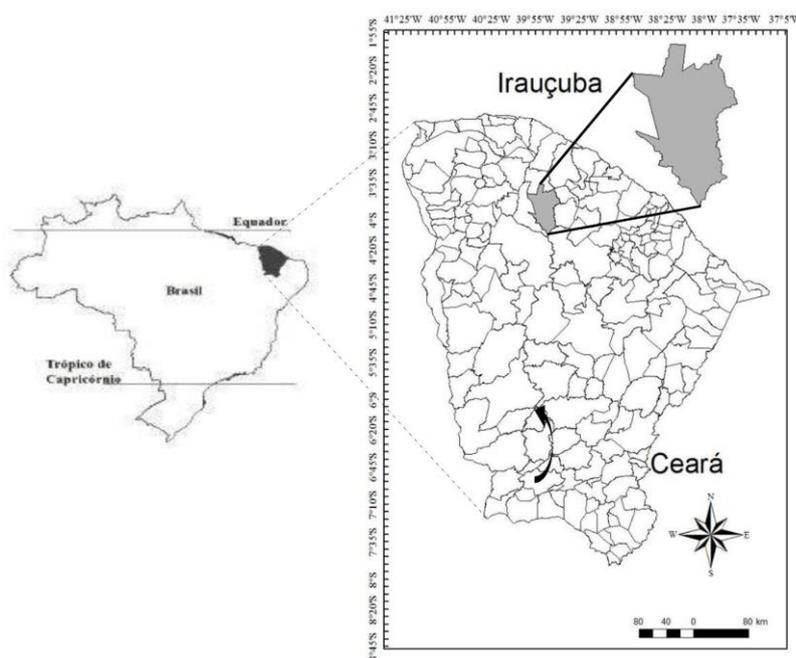
5.1 Local e caracterização da área de estudo

O trabalho foi conduzido na área experimental do projeto “Estudos dos processos de Degradação/Desertificação e suas relações com o uso da terra em Sistemas de Produção no Semiárido cearense: O caso da microrregião de Sobral – Ceará”, em uma região identificada

como um dos Núcleos de Desertificação do semiárido brasileiro no município de Irauçuba (FIGURA 1), que se encontra a 146 km da capital Fortaleza-CE em linha reta (IPECE, 2014).

O estudo foi realizado em duas áreas da região, uma em pousio e outra em sobrepastejo (FIGURA 2) com as respectivas coordenadas geográficas e altitude de 3°47' 23,62"S e 39°47' 51,86"W; altitude – 164 m (pousio), e 3° 47' 22,40"S e 39° 47' 51,44"W; altitude – 164 m (sobrepastejo).

Figura 1 - Localização do município de Irauçuba, Ceará



Fonte: Adaptado de Araújo, 2015.

O clima da região, conforme classificação de Koppen, do tipo Bshw', é semiárido, megatérmico, com curta estação chuvosa no verão-outono, com precipitações pluviais concentradas nos meses de fevereiro a abril, com média anual de 539,5 mm e com temperatura média entre 26° e 28°C (IPECE, 2014). Uma das causas que agravam a deficiência de chuva no local é pelo fato da área encontrar-se a sota-vento da serra de Uruburetama, constituindo-se em uma área de “sombra de chuva”.

A vegetação da região reflete os efeitos dos fatores físicos, como as condições edafoclimáticas e ação antrópica. Em um levantamento floral do local, realizado por Sales e Oliveira (2006), foram identificadas 112 espécies representando 35 famílias, além de forrageiras como a herbácea estilósante (*Stylosantes humilis Kunth*) e de gramíneas do tipo milhã (*Brachiariasp, Panicumsp*), espécies tomadas como indicadoras de pastagens nativas

com alta produtividade.

Figura 2 - Fotografia mostrando contraste da área em pousio e sobrepastejo, na estação seca, no município de Irauçuba, Ceará



Fonte: Autor

A pecuária extensiva em condições de sobrepastejo é um fator histórico, constituindo-se na principal atividade econômica desenvolvida na região. O desenvolvimento de culturas anuais como forma de subsistência também se apresenta sendo uma atividade danosa para o núcleo, pois, neste caso não são consideradas as limitações do ambiente, devido ao baixo conhecimento tecnológico de manejo agrícola (ARAÚJO FILHO; SILVA, 2015).

5.2 Análises granulométricas e carbono orgânico total

O Planossolo em estudo já foi descrito por Ferreira (2015), no qual concluiu que se trata de um Planossolo Nátrico Órtico vertissólico. Portanto foram utilizados, neste estudo, resultados de areia total, areia grossa, areia fina, argila, argila dispersa em água, grau de floculação, porosidade total e carbono orgânico total, obtidos por Ferreira (2015), para melhor discutir os resultados das análises micromorfológicas, morfológicas e teste de infiltração.

5.3 Coleta das amostras

A área de pousio, excluída de animais domésticos há 13 anos, tem por finalidade

verificar seu potencial de regeneração de forma natural, porém, em suas adjacências continuam o sobrepastejo, em que geralmente pastejam bovinos, ovinos e caprinos. Foi escolhida uma área sob pousio e outra em sobrepastejo e em cada área foram abertas quatro minitrincheiras (30 x 30 cm), com quatro repetições, para coleta de amostras de solo com estrutura deformada.

Amostras preservadas para análise micromorfológica foram coletadas do horizonte AE, de acordo com a profundidade dos mesmos, para verificação da alteração no horizonte superficial, sendo um ponto na área de exclusão e outro em área de sobrepastejo. Os blocos foram esculpados de cima para baixo nas laterais das trincheiras e acondicionados em caixas de Kubiena com dimensões 7,5 x 6,5 x 4 cm.

5.4 Teste de infiltração de água

Neste teste, a taxa de infiltração foi medida a partir da camada superficial utilizando tensinfiltrômetro (PERROUX; WHITE, 1988). O tensinfiltrômetro utilizado contém um reservatório com área de seção transversal de 22,9 cm², em que é adicionado um volume de água a ser infiltrado. Esse recipiente também é composto por uma base circular com área de 123,0 cm², no qual apresenta uma régua utilizada para realizar medições de vazão no intervalo de tempo estipulado. O contato do equipamento com o solo é realizado por intermédio de um tecido de *nylon*. A superfície do solo onde o aparelho é colocado, precisa estar plana, e para isto utilizou-se uma fina camada de areia, melhorando o contato equipamento-solo.

Foram realizadas 4 ensaios de infiltração de água na área em sobrepastejo, e 4 na área sob pousio, sendo procedidas as leituras no intervalo de 1 minuto, sobre a camada superficial do solo. As determinações foram cessadas quando, pelo menos, quatro leituras apresentaram resultados semelhantes, significando que a infiltração de água tornou-se estável. Com as medições de fluxo se obtêm a condutividade hidráulica que se confunde com a velocidade de infiltração de água (VIB) quando o solo está saturado.

Para a VIB (mm h⁻¹) foi utilizado a equação, $VIB = q60(Dt/Db)$, onde q é o fluxo constante de água do tensinfiltrômetro (mm min⁻¹), Dt é o diâmetro do tubo (mm), e Db é o diâmetro da base do tensinfiltrômetro (mm), e 60 é para transformar o resultado horas. Os dados médios de VIB foram submetidos ao teste t de student e a normalidade foi determinada pelo teste de Shapiro-Wilk. Foi determinado também a infiltração instantânea e infiltração acumulada ao longo do tempo, sendo melhor exemplificada por gráficos. Os resultados foram

correlacionados com o que foi observado nas análises micromorfológicas, fornecendo robustez a conclusão do trabalho.

5.5 Análise micromorfológica

5.5.1 Impregnação das amostras

Para a confecção das lâminas foi necessário que o material friável estivesse suficientemente endurecido para poder ser cortado e polido. Como as amostras de solos apresentam argila de atividade alta, poderiam apresentar contrações drásticas, causando imperfeições na amostra, como rachaduras ou quebra. A não remoção total de água necessária para que haja perfeita impregnação, é outro problema que é verificado nesses solos. Nesta situação, é recomendado fazer a substituição da água por um solvente, que no caso foi acetona. A impregnação e a laminação foram realizadas seguindo as orientações do capítulo 5 do manual de métodos de análise de solo da EMBRAPA (COOPER; CASTRO; COELHO, 2017).

5.5.2 Descrição das lâminas

A descrição das lâminas e a estimativa da proporção dos componentes minerais, da porosidade e das feições pedológicas foram realizadas seguindo o esquema e a terminologia propostos por Bullock *et al.* (1985) e por Brewer (1976).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Atributos morfológicos

A análise dos horizontes superficiais mostrou que o solo da área sob pousio apresenta um horizonte A fraco com estrutura em blocos subangulares seguido de horizonte E (FIGURA 3a). O Planossolo da área em sobrepastejo apresenta horizonte A com menor espessura em relação ao solo sob pousio, com horizonte E subsequente, com estrutura laminar (FIGURA 3b). O horizonte A parcialmente truncado na área em sobrepastejo provavelmente é devido a chuvas intensas típicas dessa região, pois a ausência de vegetação maximiza o escoamento superficial, semelhante ao que foi observado por Souza *et al.* (2015) estudando

um Luvissole sob desertificação em São Domingos- PB.

A presença de estruturas laminares no sobrepastejo é devido à compactação causada pelo intenso pisoteio de animais, o qual favorece a formação de uma camada endurecida (FIGURA 3b). No solo sob pousio os agregados não se desfaziam com muita facilidade, atribuindo-lhe grau de desenvolvimento moderado, diferente do solo em sobrepastejo que apresentou agregados com grau de desenvolvimento fraco. O comportamento dessa propriedade nos solos das duas áreas é porque no Planossolo submetido ao sobrepastejo boa parte das partículas finas foi retirada, partículas essas que permaneceram na área sob pousio e, esse material fino, composto praticamente de argila e matéria orgânica, promove a agregação nos solos por serem agentes cimentantes.

Portugal *et al.* (2010) destacam que mudanças no uso do solo afetam a agregação. E isto pode ser por influência da matéria orgânica, mostrado nos trabalhos realizados por Fontana *et al.* (2010) e Portugal *et al.* (2010), os quais concluem que as substâncias húmicas presentes na matéria orgânica são importantes no processo de formação e estabilização de agregados, devido sua ação cimentante. Por outro lado o teor de argila também pode influenciar na agregação do solo, pois, de acordo com Vezzani e Mielniczuk (2011), a maior quantidade de argila favorece a aproximação das partículas do solo. Silva *et al.* (2011) relatam que o solo situado em uma área de mata apresentou maiores teores de matéria orgânica e o dobro de argila em relação a área sob sabiá e pasto, o que promoveu uma maior agregação nesse solo.

Com relação à cor do solo, somente os horizontes A das duas áreas apresentaram diferenças (FIGURAS 3 a e b). O horizonte A da área de pousio apresentou-se mais escurecido (menor valor) quando comparado ao da área em sobrepastejo, isso é explicado pelo maior aporte de matéria orgânica no solo sob pousio, favorecendo o processo pedogenético específico de melanização, que consiste no escurecimento do material mineral do solo por adição de matéria orgânica e húmus, onde os compostos húmicos revestem a superfície dos grãos minerais (KÄMPF; CURI, 2012).

Figura 3 - Perfil do solo sob pousio com seqüência de horizontes A, E e Bt (a), horizonte A do solo em sobrepastejo(b)



Fonte: Autor

O acúmulo de matéria orgânica influenciando o escurecimento no horizonte A também foi evidenciado em alguns estudos como o realizado por Botelho *et al.* (2006), em solos do Rio Grande do Sul, ao comparar dois métodos de medidas de cores. Assim como Ferreira *et al.* (2016) e Barbosa *et al.* (2015) que obtiveram resultado semelhante, observando redução no valor e croma do solo em ambientes com maior aporte de material orgânico ao solo com atuação intensa do processo de melanização.

Observa-se diferença da classe textural do horizonte A entre as duas áreas, sendo mais arenosa no Planossolo em sobrepastejo. Isto ocorre devido à retirada das partículas mais finas desse solo chamada de elutriação, pois a ausência de vegetação nessa área favorece maior escoamento superficial, principalmente no início da quadra chuvosa, período em que o solo está completamente descoberto vegetativamente.

Outros atributos morfológicos não sofreram alterações expressivas quando comparados os Planossolos na área de pousio e de sobrepastejo. Houve similaridade nos atributos cor, textura e estrutura no horizonte E nas duas áreas (TABELA 1), denotando que em relação à morfologia houve pouca influência da prática de pousio de 13 anos e sobrepastejo em horizontes superficiais.

Tabela 1 - Descrição morfológica de horizontes superficiais de Planossolo sob pousio e em sobrepastejo de uma área sob processo de desertificação no município de Irauçuba

PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico					
	HOR	PROF.	COR ÚMIDA	ESTRU.	TEXTURA
POUSIO	Ap	0-3	7,5YR 3/2	mo, md, bsa	Franco-arenosa
	E	3-17	10YR 3/2	fr, pq, md, bsa	Arenosa
SOBREP.	Ap	0-1	10YR 4/2	fr, mpq, md, lam	Arenosa
	E	3-17	10YR 4/3	fr, pq, md, bsa	Arenosa

Fonte: Autor

1. fr – fraca, mo- moderada, pq – pequena, mpq – muito pequena, md – média, bsa – bloco subangular, lam- laminar.

6.2 Infiltração de água no solo

As taxas de velocidade de infiltração (VI) são altas, segundo a classificação de Bernardo *et al.* (2005), e não apresentaram diferenças estatísticas entre os Planossolos das áreas sob pousio e em sobrepastejo, embora no pousio esta seja um pouco mais elevada (TABELA 2). Os valores da VI estão dentro da faixa dos resultados encontrados por outros autores em solos sob diferentes sistemas de manejo (SATO *et al.*, 2012; CUNHA *et al.*, 2009; FONTENELE *et al.*, 2009; PRANDO *et al.*, 2010). Por outro lado, quando observados os valores de infiltração instantânea e acumulada (GRÁFICO 1), nota-se que nos instantes iniciais o solo excluído de animais apresentou maior quantidade de água infiltrada em relação à área pastejada, alcançando valores semelhantes nos instantes finais quando ficam constantes.

Tabela 2 - Atributos físicos e carbono orgânico total do solo sob condição de pousio e sobrepastejo em áreas em processo de desertificação no município de Irauçuba-CE

PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico vertissólico									
Manejos	*AT ¹	*AG ²	*AF ³	*ARG ⁴	*ADA ⁵	*GF ⁶	*COT ⁹	*PT ⁷	VI ⁸
	g kg ⁻¹						%	mm min ⁻¹	
Pousio	773A	361B	412A	62A	11A	81A	12,75A	36A	3,3A
Sobrepastejo	787A	510A	277B	44A	9A	78B	4,77B	30B	2,7A

Fonte: Adaptado de Ferreira (2015) e autor (VI).

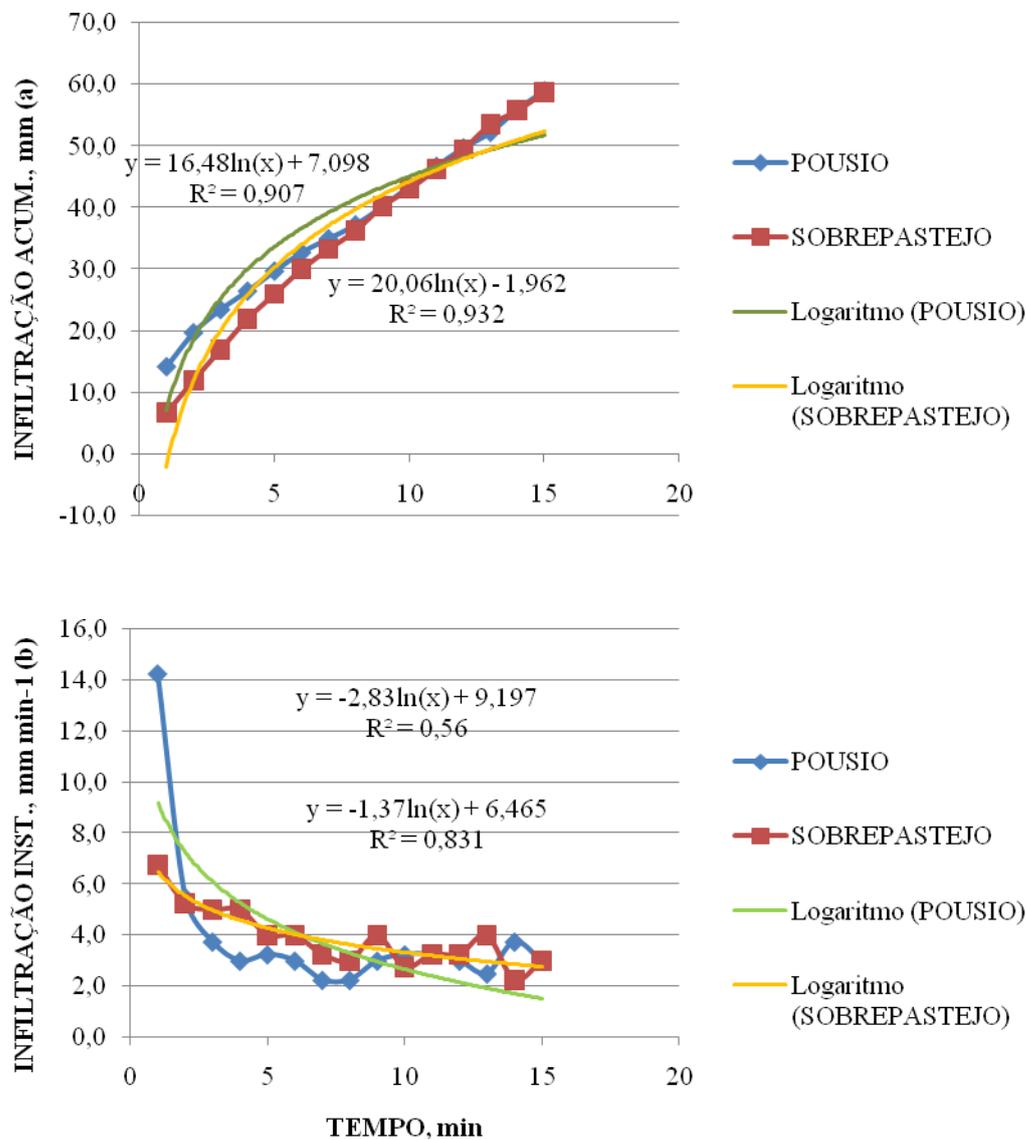
Letras maiúsculas idênticas não diferenciam estatisticamente entre si na mesma área pelo teste de Tukey e t de student a 5% de probabilidade. Nota: 1 areia total; 2 areia grossa; 3 areia fina; 4 argila; 5 argila dispersa em água; 6 grau de floculação; 7 porosidade total; 8 velocidade de infiltração; 9 carbono orgânico total.

* Dados obtidos da tese de Ferreira, 2015.

A diferença encontrada na quantidade de água infiltrada, nos momentos iniciais do teste de infiltração pode ser explicada pela porcentagem de porosidade total que é maior na

área sob pousio, na qual provavelmente é constituída em maior quantidade por macroporos, refletindo na infiltração de água. Pois o solo sob pousio apresenta maior acúmulo de matéria orgânica, esta, por sua vez, favorecerá formação de agregados aumentando assim a quantidade de macroporos. Já o solo em sobrepastejo possui menor quantidade de macroporos devido ao pisoteio dos animais. Portanto, maiores valores de COT no solo sob pousio em comparação ao solo em sobrepastejo, embora sejam baixos, já foram o suficiente para modificar a porosidade total em superfície, o que provavelmente aumentou a quantidade de água infiltrada nos instantes iniciais.

Gráfico 1- Infiltração acumulada (mm) (a), e infiltração instantânea (mm min⁻¹) (b) de um Planossolo Nátrico submetido a dois sistemas de manejo de acordo com o tempo



Fonte: Autor.

Segundo Braida e Reichert *et al.* (2014), a maior diversidade vegetal em ecossistemas excluídos de atividades agrícolas, sempre resulta em maior diversidade de organismos vivos, que contribuem para o desenvolvimento de uma estrutura mais porosa e menos densa no solo. Deve-se destacar, ainda, que o intenso pisoteio animal tende a aumentar a densidade e reduzir a porosidade do solo, favorecendo a sua degradação (COLLARES *et al.*, 2011).

Mekuria (2013) e Huang *et al.* (2007) destacam que a adoção da prática de pousio foi essencial no aumento do teor de carbono orgânico no solo, semelhante ao obtido pelo presente trabalho. Pachêco *et al.* (2006) também ressaltam que na área em sobrepastejo há um menor aporte de material orgânico vegetal, resultado do pastejo excessivo e da remoção de plantas arbóreas e arbustivas para diversos fins. Contudo, para o aumento do teor de carbono orgânico o tempo é muito importante, pois, embora seja um fator passivo, este é primordial na recuperação de áreas degradadas. No caso de Huang *et al.* (2007) que, estudando desertificação no norte da China após 17 anos de pousio, constataram um aumento da matéria orgânica do solo de 89,3% na área de exclusão, sendo mais acentuada na parte mais superficial.

Mendes *et al.* (2011), estudando a dinâmica da água em um Argissolo Amarelo na camada superficial monitorado por tensiômetros, observaram resultados de infiltração instantânea semelhantes ao presente estudo, apesar de serem classes de solos diferentes, onde revelou que as maiores sucções ocorreram no tratamento em pousio, mostrando que a cobertura vegetal facilitou a infiltração, diminuindo o escoamento superficial. Já Bamberg *et al.* (2012), estudando infiltração de água em um Planossolo háplico em dois sistemas de preparo, obtiveram valores inferiores aos encontrados neste trabalho, tanto na infiltração instantânea como na acumulada.

A maior quantidade de areia grossa presente no solo em sobrepastejo, em comparação ao solo sob pousio, denota a influência do processo de elutriação, pois neste processo as partículas mais finas são carregadas pela enxurrada, devido à falta de proteção superficial do solo a agentes degradantes como a chuva, fato este que pode estar associado à maior degradação da área. Alguns autores (HE *et al.*, 2004; HUANG *et al.*, 2007; PEI *et al.*, 2008) ressaltam esse aumento no teor de areia nas áreas em sobrepastejo em comparação com as áreas em pousio.

Afinal, trazendo essa discussão à luz dos processos que podem desencadear a desertificação, esses são fortemente influenciados pelas condições pedológicas ligadas a capacidade de retenção de água no perfil dos solos.

6.3 Análise micromorfológica

Foram observadas consideráveis diferenças em alguns atributos micromorfológicos nos Planossolos das duas áreas estudadas, porém, principalmente no que diz respeito às proporções de material fino, grosso e poros (TABELA 3). Tais diferenças apontam para ações pedogenéticas distintas nos horizontes superficiais desses solos.

Tabela 3 - Descrição micromorfológica de Planossolos em sistema de sobrepastejo e sob prática de pousio em Irauçuba, CE

ATRIBUTOS GERAIS	DESCRIÇÃO	
	Solo em sobrepastejo	Solo sob pousio
MATERIAL GROSSO (%)	75% (muito dominante)	62% (muito dominante)
MATERIAL FINO (%)	5% (muito baixa)	3% (muito baixa)
MATERIAL GROSSO	Quartzo, mica, plagioclásio e microclina, angular, subangular (blocos, poliedros), subarredondado, mal selecionado	Quartzo mica, plagioclásio e microclina, angular, subangular (blocos, poliedros), subarredondado, mal selecionado
MICROESTRUTURA	Grão simples (apedal)	Grão simples (apedal)
POROS (%)	20%	35%
TIPO DE POROS	Intergranulares ou de empilhamento simples, não orientado	Intergranulares ou de empilhamento simples, canais (bioporos), não orientado
DISTRIBUIÇÃO RELATIVA	Quitônica e porfírica	Quitônica e porfírica
FEIÇÕES PEDOLÓGICAS	Pedotúbulos, glébulas ou nódulos	Pedotúbulos, glébulas ou nódulos
FÁBRICAS BIRREFRINGENTES	Ausentes	Ausentes
CRITÉRIO C/F OU G/F	75/5	65/5

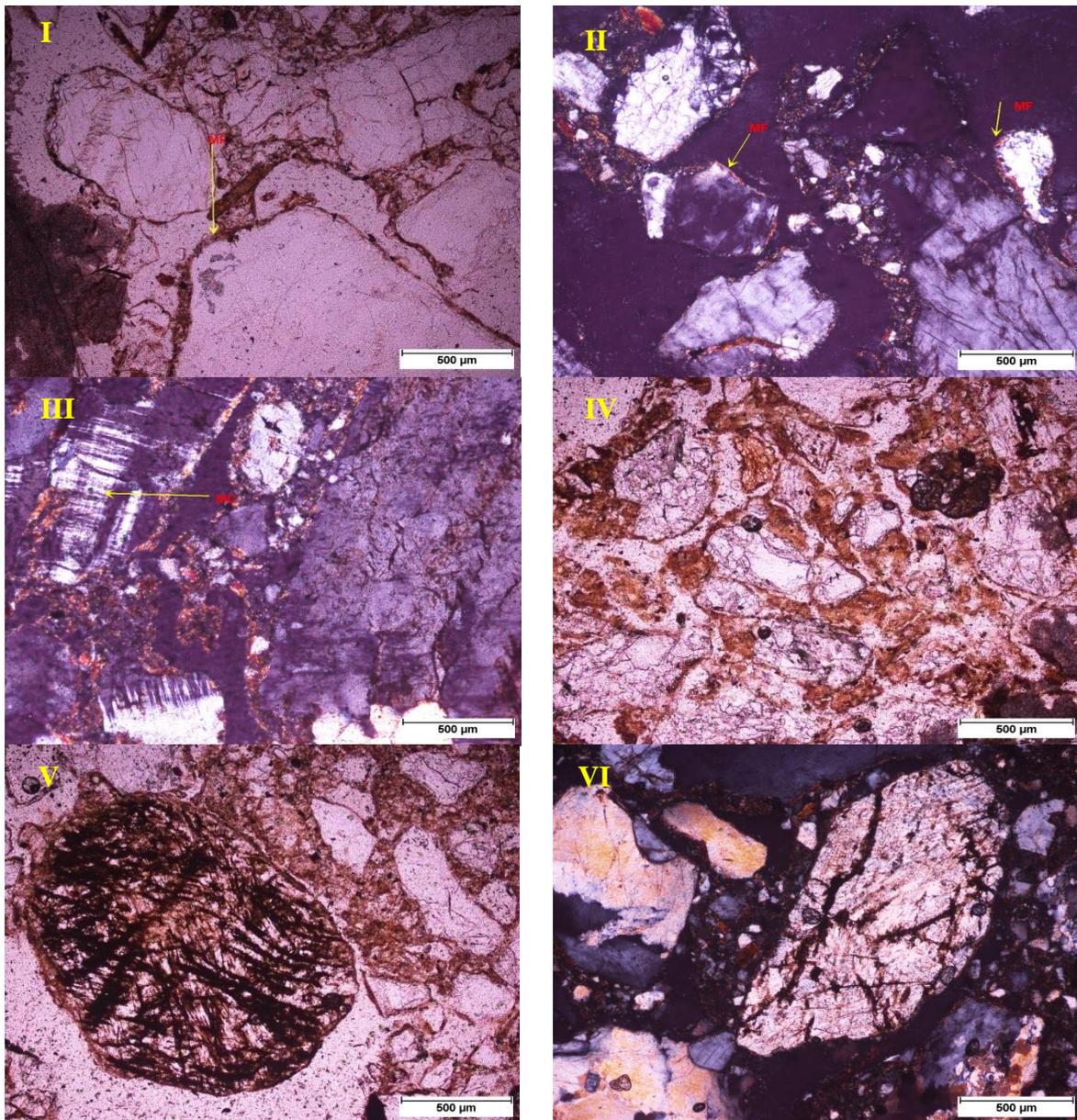
Fonte: Autor.

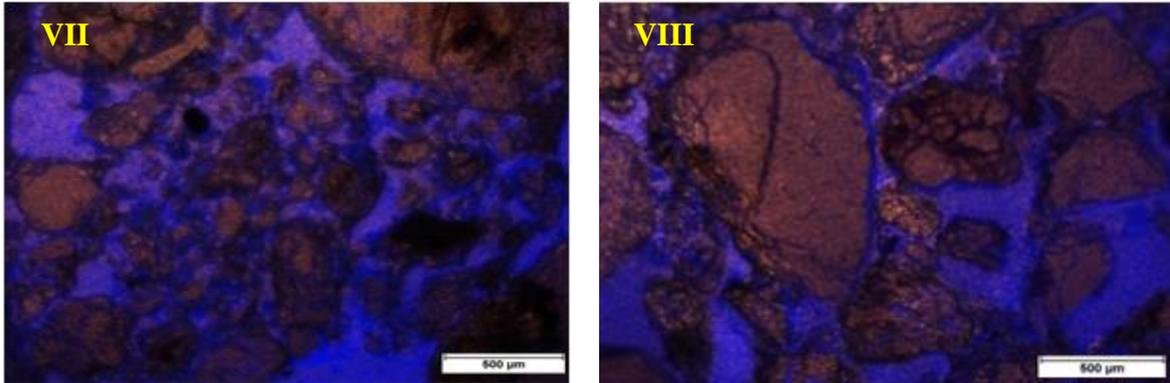
O material grosso dos Planossolos analisados nas duas áreas é constituído principalmente por minerais ainda não intemperizados, nos quais há predomínio de grãos de quartzo, plagioclásios e algumas partículas de mica e microclina, sendo parte desses minerais com impregnação ferruginosa, e a microestrutura em grãos simples. O fato observado é bem relevante, pois segundo Borchardt (1977), a formação e a preservação de minerais no Planossolo estão intimamente ligadas à condição de drenagem impedida destes solos. É importante salientar que a maior quantidade de quartzo está associada à presença desse mineral no material de origem, assim como por sua resistência ao processo de intemperismo.

Algumas partículas de mica, plagioclásio e microclina, em diferentes estágios de intemperização, foram encontrados nestes solos (FIGURAS 4.III.V.VI e 5.IV), semelhante ao que foi observado em um Planossolo por Oliveira *et al.* (2008). O grau de intemperização dos

minerais observados é similar a descrição de Parahyba (1993), também em um Planossolo, no qual relata que há fragmentação inicial ao longo da clivagem basal, oxidação e liberação de ferro e formação de argilas.

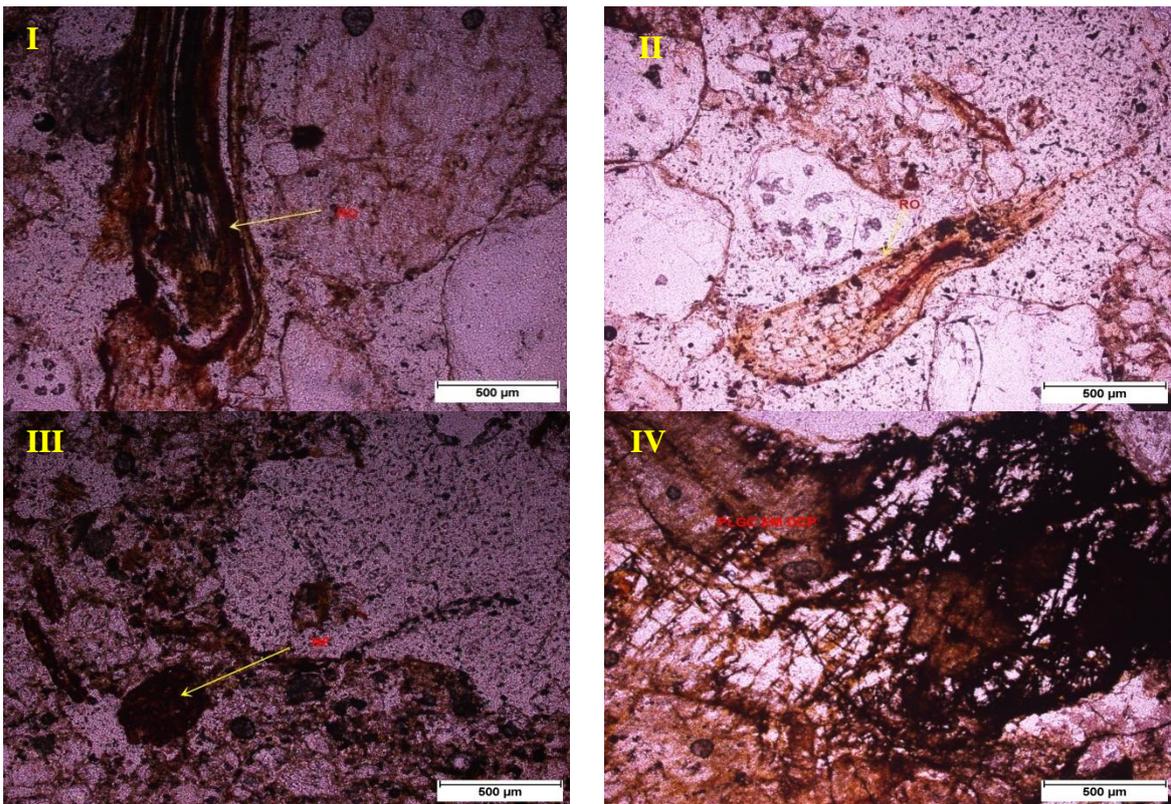
Figura 4 - Fotomicrografias mostrando: padrão de distribuição relacionado (PDR) do tipo quitônica, enáulica e porfírica, com pequeno revestimento de óxidos de ferro em algumas partículas de quartzo na luz normal (I) e na luz polarizada (II), um mineral de microclina se decompondo (III), uma massa de material fino preenchendo poros (IV), um grão de plagioclásio sendo atacado por ferro (V), a ausência de fábrica birrefringente na luz polarizada e um grão de quartzo com fissuras (VI), e ainda a distribuição de poros utilizando luz negra (VII e VIII) no horizonte AE de um Planossolo sobrepastejado em área de desertificação

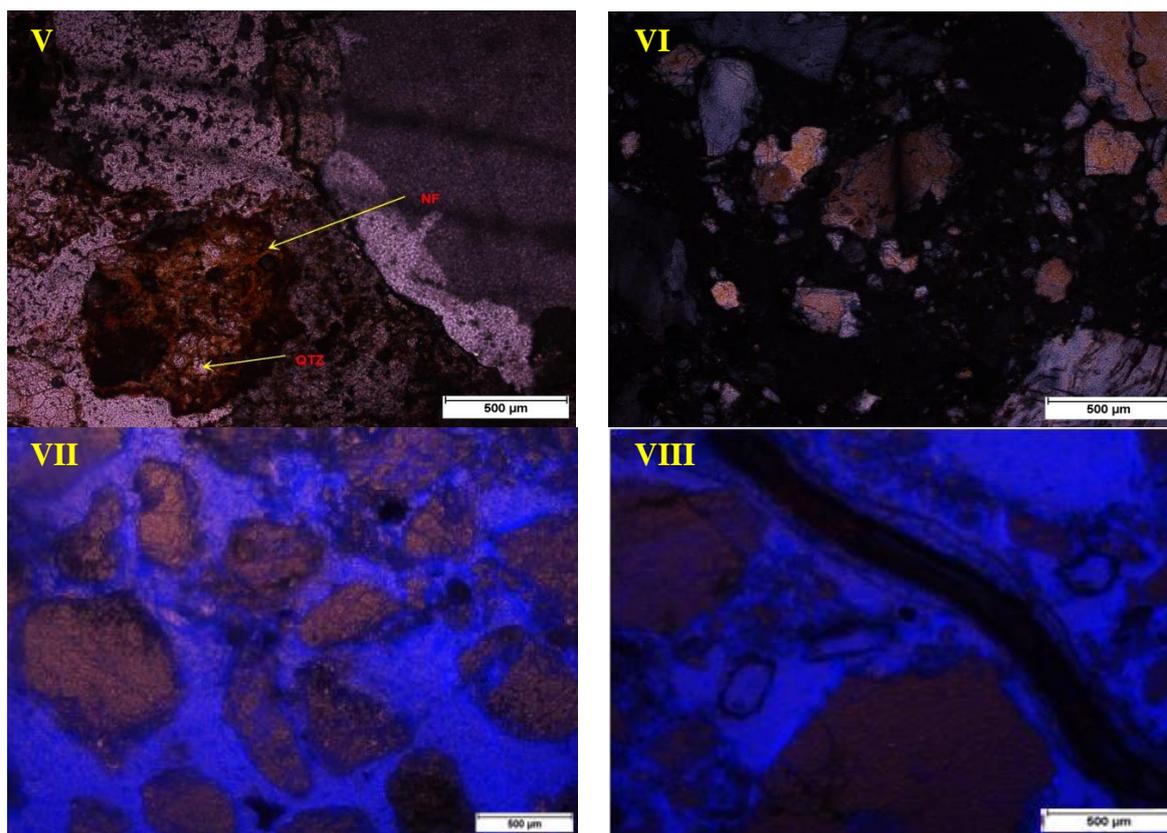




Fonte: Autor.

Figura 5 - Fotomicrografias mostrando: padrão de distribuição relacionado (PDR) do tipo quitônica, enáulica e porfírica, com resíduos orgânicos que parece ser vestígios de uma raiz (I e II), um nódulo de ferro (III), plagioclásio em elevado grau de alteração (IV), nódulo de ferro com partículas de quartzo em seu interior caracterizando o processo de plintização na luz polarizada (V), a ausência de fábrica birrefringente na luz polarizada (VI), alguns poros e bioporos em canais provavelmente ocasionado por raízes na luz negra (VII e VIII) no horizonte AE de um Planossolo sob pousio em área de desertificação





Fonte: Autor.

Houve maior presença de material grosso na área de sobrepastejo (TABELA 3), a qual apresentou maior proporção de areia grossa (TABELA 2). Evidenciando, com isso, o maior grau de degradação desse solo, validando assim a identificação de campo. Oliveira *et al.* (2008), estudando micromorfologia de solos no semiárido, destacaram que havia grande quantidade de areia no horizonte superficial de um Luvissole crômico, sendo o padrão de distribuição relativa predominantemente quitônico, compartes gefúrico e porfírico, semelhante ao presente estudo que apresentou distribuição relativa quitônica com partes porfírico (FIGURAS 4 e 5). A ausência do padrão de distribuição gefúrica neste estudo em comparação ao citado, provavelmente é devido ao teor de argila que é de 62 g kg^{-1} (pousio) e 44 g kg^{-1} (sobrepastejo) no presente trabalho, sendo inferior ao obtido por Oliveira *et al.* (2008), que foi de 150 g kg^{-1} , os outros dois tipos de distribuição ocorrem porque a argila, mesmo em pequena quantidade, promove o revestimento de unidades grosseiras (quitônico), ou até mesmo forma uma massa densa de material fino na qual as unidades grosseiras estão inseridas (porfírica) (CASTRO, *et al.*, 2013).

Com base na textura arenosa observada em campo e constatada na análise micromorfológica, por meio da quantidade de material grosso e critério G/F do horizonte superficial, especula-se que tal comportamento neles observados é resultado de pelo menos

dois processos pedogenéticos da perda de material fino do horizonte, um pelo processo de lessivagem e o outro pelo de elutriação que ocorrem normalmente em solos com horizonte B textural. Entretanto, além dos citados, outros processos podem promover a diferenciação textural entre os horizontes do solo, como: formação de argila pelo intemperismo de minerais primários - neoformação; bioturbação; entre outros (PHILLIPS, 2007).

O horizonte AE, de ambas as áreas, apresenta padrão de distribuição relativa quitônica com partes porfírico (TABELA 3). Essas feições ocorrem apenas em algumas partes, pois esse horizonte apresenta uma textura mais arenosa, com pequenas proporções de material fino. Embora os horizontes das duas áreas estudadas apresentem o mesmo padrão de distribuição, e a área de pousio possua maior teor de argila, o horizonte da área em sobrepastejo apresenta maior frequência de material fino recobrando as partículas grosseiras e obstruindo os poros. Este fato é devido à compactação exercida neste solo, por meio do sobrepastejo de animais, que promove uma maior densidade desse solo.

Estudando Planossolo no sertão do Araripe em Pernambuco, Oliveira *et al.* (2004) constataram que, semelhante ao presente estudo, os grãos do esqueleto estavam revestidos por argila no horizonte Ap, atribuindo tal fato ao processo de transporte dos grãos, os quais posteriormente foram revestidos por matéria orgânica e argila no novo ciclo pedogenético.

A porosidade foi superior no solo sob pousio em relação ao sobrepastejo (TABELA 3), resultado obtido por meio da quantificação do espaço poroso usando-se imagens com as lâminas iluminadas por luz negra. Nessas imagens observa-se que há maior proporção de bioporos no solo sob pousio (FIGURAS 5. VII.VIII) do que na área de sobrepastejo (FIGURAS 4. VII.VIII). A presença de bioporos denota a maior atividade biológica e presença de matéria orgânica que solos sob pousio apresentam, além de favorecer a macroporosidade. Segundo Juhász (2007), a macroporosidade é favorecida pela microestrutura e por bioporos, a qual está influencia a condutividade hidráulica do solo. Silva *et al.* (2015) destacam que uma forma de constatar a atividade biológica é pela presença de canais de origem biológica, semelhante ao observado no presente trabalho (FIGURAS 5 I, VIII).

Foi observado também na análise micromorfológica a presença de ortotúbulos nos horizontes analisados, indicando que os espaços derivados da atividade microbiana ou do desenvolvimento de raízes estão sendo preenchidos pelo movimento de argilas no perfil. O mesmo fenômeno foi observado por Neto *et al.* (2010), ao estudarem a gênese de horizontes com caráter coeso em solos dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

Nódulos de ferro foram encontrados tanto nas lâminas de solo sob pousio como em sobrepastejo, isso deve-se ao fato desse solo apresentar variações em condições químicas, no caso do processo de oxidação, que é dependente de condições físicas como acúmulo de água em períodos chuvosos, já que este solo apresenta horizonte B textural a partir dos 17 cm, sendo uma camada de impedimento para a percolação da água, promovendo acúmulo de água em certo período de tempo, como é comum nos Planossolos (Embrapa, 2018).

Os nódulos ferruginosos encontrados nesses solos são de cor marrom avermelhado e alguns apresentam partículas em seu interior (FIGURA 5.V), aparentemente são grãos de quartzo e plasma que foram envolvidos pelo ferro, evidenciando o processo de plintização, que em geral, é atribuído às flutuações do lençol freático, bem como às restrições de drenagem do solo (Benedetti *et al.*, 2011).

Lustosa (2015) também observaram nódulos ferruginosos em solos da mesma região de estudo, inclusive com a presença de grãos de quartzo em seu interior. O autor explica que a maior parte dos nódulos concentram-se em horizontes subsuperficiais, havendo uma destruição das glébulas em direção a superfície pela mobilização do ferro causada por soluções ácidas percolantes, as quais são decorrentes da decomposição da matéria orgânica de superfície. Por outro lado, Girão *et al.* (2014), estudando gênese de nódulos de ferro em solos da Chapada do Apodi no Ceará, observaram que estes estavam presentes em maior quantidade na superfície do perfil, diminuindo com a profundidade, evidenciando o processo de degradação dos nódulos de ferro nos horizontes de subsuperfície, já que estes são mais evoluídos e diretamente influenciados pelo processo de intemperismo, entretanto, a área de estudo não era dominada pelos Planossolos.

As fábricas birrefringentes não foram observadas nas lâminas em estudo na luz polarizada (FIGURAS 4.IV e 5.IV), isso por que essas fábricas são observadas no material fino, que são poucos, denotados pela distribuição relativa mônica. Segundo Castro *et al.* (2013), a fábrica do material fino observada sob luz polarizada é descrita de acordo com padrões de orientação e distribuição das cores de interferência e pela sua natureza.

7 CONCLUSÃO

A prática do pousio está contribuindo para uma maior porosidade no solo, devido ao maior aporte de matéria orgânica, evidenciado na análise micromorfológica com a presença abundante de bioporos, causando alterações na micromorfologia e morfologia do horizonte superficial AE em relação ao sobrepastejo.

Não foi observado diferença estatística na infiltração total de água, porém, houve um leve aumento na infiltração instantânea e acumulada no início dos testes para a área de pousio em relação ao sobrepastejo, indicando uma interferência da prática do pousio na infiltração, mesmo que de forma incipiente.

Os resultados das análises micromorfológicas sugerem que a gênese dos dois Planossolos estudados está sendo diretamente influenciada pelo processo de oxidação e redução causado pelo acúmulo temporário de água próximo à superfície do solo.

REFERÊNCIAS

- AHUJA, L. R.; J. W. NANEY; R. E. GREEN; D. R. NIELSEN. 1984. **Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity and effects of land management.** Soil Sci. Soc. Am. J. Madson, 48(4), 699–702p.
- ALLINGTON, G. R. H.; VALONE, T. J. Reversal of desertification: The role of physical and chemical soil properties. **Journal of Arid Environments.** [s.l.]. v.74, p. 973-977, 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo pastoril sustentável da caatinga.** Recife, PE: Projeto Dom Helder Câmara, p.49-117, 2013.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; SILVA, N. L. Impactos e mitigação do antropismo no núcleo de desertificação de Irauçuba-CE. *In*: OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. (Organizadores). **Monitoramento da desertificação em Irauçuba.** Fortaleza: Imprensa Universitária, p.21-42, 2015.
- ARAUJO, M.L.M.N. **Impactos ambientais nas margens do Rio Piancó causados pela agropecuária.** Revista Brasileira de Gestão Ambiental. [s.l.], v.4, n.1, p. 13-33, 2010.
- ARAÚJO, J. A.; SOUZA, R. F.; **Abordagens sobre o processo de desertificação: uma revisão das evidências no rio grande do norte.** Geosul, Florianópolis, v. 32, n. 65, p. 122-143, 2017.
- BAMBERG, A. L.; MARTINAZZO, R.; SILVEIRA, C. A. P.; MADALUZ, L. M.; FERNANDES, A. **Infiltração de água em Planossolo Háplico cultivado com soja (glicinimax. L.) em sistema de preparo convencional e plantio direto.** XIX Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água. Lages, SC, 2012.
- 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, [s.l.]. v.73, p. 3731–3743, 2015.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 7.ed. Viçosa: UFV, 611p, 2005.
- BONINI, C. S. B.; LUPATINI, G. C. ; ANDRIGHETTO, C.; GUSTAVO PAVAN MATEUS, G. P.; HEINRICH, R.; ARANHA, A. S.; SANTANA, E. A. R.; MEIRELLES, G. C. **Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.51, n.9, p.1695-1698, 2016.
- BORCHARDT, G.A. Montmorillonite and others smectite minerals. *In*: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. **Minerals in soil environments.** Madson, Soil Science Society of America, p.293-330, 1977.
- BOTELHO, M. R.; DALMOLIN, R. S. D; PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C.; RODRIGUES, R. B.; MIGUEL, P. **Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria.** Cienc. Rural vol.36 no.4. Santa Maria, 2006.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** Porto Alegre:

Bookmann Editora LTDA, 2013.

BRANDÃO, V. S.; Pruski, F. P.; Silva, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3.ed. Viçosa: UFV, 120p, 2009.

BRANDÃO, R. L. *et al.* **Zoneamento geoambiental da região de Irauçuba-CE: carta geoambiental**. Texto explicativo. Fortaleza: CPRM, 63 p, 2003.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral-Projeto Radambrasil. Folha SA.24. **Fortaleza:geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. v.21 488p. Rio de Janeiro, 1981.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York: Robert E. Krieger Publishing Company, 1976. 482 p.

BULLOCK, P.; THOMPSON, M.L. Micromorphology of Alfisols. *In*: THOMPSON, M.L., org. **Soil micromorphology and soil classification**. Madson, Soil Science Society of America. p.17-47, 1985.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G. A.; SOBRINHO, N.M.B.B. **Reações da matéria orgânica do solo**. *In*: Santos, G. A.; Camargo, F.A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Genesis, Porto Alegre. p.69-89, 1999.

CASTRO, S.S. de; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL TORRADO, P. **Micromorfologia de solos: Bases para descrição de lâminas delgadas**. Campinas/Goiânia: UNICAMP/UFG, 143p, 2008.

CASTRO, S.S. de; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. *In*: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A.S.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v.3, p.107-164, 2003.

CEARÁ, Secretaria dos Recursos Hídricos. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAE-CE**, Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente / Secretaria dos Recursos Hídricas, 2010.

CECÍLIO, R. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A. **Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de Green-Ampt**. Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental. [s.l.], v.7, p.415-422, 2003.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília, DF: 252p, 2016.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. **Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura – pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul**. Ciência Rural. [s.l.], v. 41, n. 2, p. 246-250, 2011.

COOPER, M.; CASTRO, S. S.; COELHO, M. R.; Micromorfologia do solo. *In*: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de**

análise de solo. Embrapa Brasília, DF, 2017.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P.; CHAPLOT, V. **Origin of microaggregates in soils with ferralichorizons.** Scientia Agricola. [s.l.], v.62, p.256-263, 2005.

CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, E.; SANTOS JUNIOR, R. B. **Velocidade de infiltração em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto.** Revista Caatinga. [s.l.], v.22, p.199-205, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev. Rio de Janeiro, 577p. , 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS).** 5 ed. Ver. Ampl. – Brasília-DF, p. 85-105, 2018.

FAO. **Status of the World's Soil Resources.** Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, Italy, 2015.

FERREIRA, M. P. S.; ARTUR, A. G; QUEIROZ, H. M; ROMERO, R. E.; COSTA, M. C. G. **Changes in attributes of soils subjected to fallow in desertification hotspot.** Rev. Ciênc. Agron. vol.49, Fortaleza, 2018.

FERREIRA, J. T. P. **Desenvolvimento de planossolos em distintas condições Geoambientais e o efeito do pousio em áreas sob processo de desertificação.** Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

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

FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V. **O manejo e a conservação do solo no Semiárido baiano: desafios para a sustentabilidade.** Bahia, Agríc. v.7, n.3, 2006.

FONTANA, A. *et al.* **Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros.** Campos dos Goytacazes, RJ. Rev. Bras. Ciênc. Agrárias, v.5, p.291-297, 2010.

FONTENELE, W.; SALVIANO, A. A. C.; MOUSINHO, F. E. P. **Atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob sistemas de manejo no cerrado piauiense.** Revista Ciência Agrônômica. Fortaleza, v.40,p.194-202, 2009.

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. *In: Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações.* 3 Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. Cap. 1, p. 17-55, 2007.

GIONGO, V. Balanço de carbono no semiárido brasileiro: Perspectivas e desafios. *In: Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro.* Campina Grande: INSA-

PB, 2011.

GIRÃO, R. O.; MOREIRA, L. J. S.; GIRÃO, A. L. A.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O. **Soil genesis and iron nodules in a karst environment of the Apodi Plateau**. Rev. Ciênc. Agron. vol.45 no.4, Fortaleza, 2014.

HE, W. Q.; GAO, W. S.; TUO, D. B.; ZHA, P. Y. **Study on some factors influencing soil erosion by wind tunnel experiment in North Ectone between Agriculture and Pasture**. Journal of Soil and Water Conservation. [s.l.], 18:1-8, 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. [s.l.], 70:120-136. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 96p, 1990.

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

JUHÁSZ, C. E. P.; COOPER, M.; CURSI, P. R.; KETZER, A. O.; TOMA, R. S. **Savanna woodland soil micromorphology related to water retention**. Sci. Agric. Piracicaba, Braz., v.64, n.4, p.344-354, 2007.

KÄMPF, N.; MARQUES, J.J.; CURI, N. Mineralogia de Solos Brasileiros. *In*: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG. SBCS, 343p, 2012.

KUBIENA, W.L. **Micropedology**. Ames, Iowa: Collegiate Press, 242p, 1938.

LEITE, S.P.; SILVA, C.R.; HENRIQUES, L.C. **Impactos ambientais ocasionados pela agropecuária no Complexo Aluízio Campos**. Revista Brasileira de Informações Científicas. [s.l.], v.2, n.2, p.59-64, 2011.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de textos, p.408-436, 2011.

LUSTOSA, J. P. G. Caracterização morfológica, micromorfológica e mineralógica de três toposseqüências no município de Irauçuba-CE e suas relações com os processos de desertificação. *In*: OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. (Organizadores). **Monitoramento da desertificação em Irauçuba**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p.21-42, 2015.

MARCHINI, D.C.; LING, T. C.; ALVES, M. C.; CRESTANA, S.; FILHO, S. N. S.; ARRUDA, O. G. **Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental. [s.l.], v.19, n.6, p.574-580, 2015.

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. [s.l.], v.75, p. 246–256, 2011.

MELO, V. F.; SCHAEFER. **Matéria orgânica em solos desenvolvidos de rochas máficas no Nordeste de Roraima**. UFRR, Boa Vista, Roraima, Brazil. Vol. 39(1), p. 53-60, 2009.

MENDES, C. A. R.; MAHLER, C. F.; ANDRADE, A. G. **Erosão superficial em argissolo amarelo sob cultivo perene e com pousio florestal em área de relevo montanhoso**. R. Bras. Ci. Solo. Viçosa- MG. 35:1387-1396, 2011.

NETO, J. A. L.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; SOUZA-JÚNIOR, V. S.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LIMA, J. F. W. F. **Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de latossolos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas**. Rev. Bras. Ciênc. Solo. Viçosa- MG. vol.34 no. 2 Viçosa, 2010

OLIVEIRA, L. B., *et al.* **Morfologia e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro**. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.33 no.5, Viçosa- MG. 2008.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERRAZ, F. B.; FERREIRA, M. G. V. X. & A. R. MERMUT, A. R. **Mineralogia, micromorfologia e gênese de solos Planossólicos do sertão do Araripe, Estado de Pernambuco**. R. Bras. Ci. Solo. Viçosa- MG. 28:665-678, 2004.

ONU News. Terras degradadas no mundo. Disponível em <<https://news.un.org/pt/story/2018/06/1627442>> Acesso em 15 de jun., 2018.

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

PARAHYBA, R.B.V. **Gênese de solos planossólicos do Agreste de Pernambuco**. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1993. 152p. (Dissertação de Mestrado)

PEI, S; FU, H.; WAN, CHANGGUI. **Changes in soil properties and vegetation following enclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China**. Agriculture, Ecosystems and Environmet. [s.l.], p. 1-7, 2007.

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

PHILLIPS, J. D. **Development of texture contrast soils by a combination of bioturbation and translocation**. Catena. [s.l.], v.70, p.92–104, 2007.

PORTUGAL, A. F. *et al.* **Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes usos, comparado com mata**. Rev Ceres. [s.l.], v.57, p.545- 553, 2010.

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. **Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. [s.l.], v.34, p. 693-700, 2010.

QUEZADA, F. S.; SANTIBÁÑEZ VARNERO, P. Interacciones entre el cambio climático y la

desertificación en Latinoamérica. *In: Mudanças climáticas e Desertificação no semiárido brasileiro*. Embrapa. Brasília, p. 27-39, 2009.

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

REYNOLDS, J.F. *et al.* **Global desertification: building a science for dryland development**. *Science*. [s.l.], v. 316, p.847- 851, 2007.

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.

ROCHA, J. E. C.; NETO, A. B. B.; NORONHA, N. C.; GAMA, M. A. P.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, A. R.; SANTOS, C. R. C. **Organic matter and physical-hydric quality of an oxisol under eucalypt planting and abandoned pasture**. *CERNE*. Belém-Pa. v. 22 n. 4, p. 381-388, 2016.

ROXO, M.J. **Panorama Mundial da Desertificação**. Agricultura familiar e desertificação. *In: Seminário luso-brasileiro*. Actas. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB. Paraíba. p. 11-32, 2006.

SALES, M. C. L. Potencial de erosão das terras no núcleo de desertificação de Irauçuba estimada por meio dos parâmetros da EUPS. *In: OLIVEIRA, J. G. B.; SALES. M. C. L. (Organizadores). Monitoramento da desertificação em Irauçuba*. Fortaleza: Imprensa Universitária, p.67-68, 2015.

SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Análise da degradação ambiental no núcleo de desertificação de Irauçuba. *In: Litoral e sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro*. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006, 408 p.

SANTOS, C. V.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, S. F.; MAZURANA, M.; PETRY, H. B.; ZULPO, L.; FINK, J. A. **Physical-hydraulic properties of a sandy loam typical eudalf soil under organic cultivation of 'montenegrina' mandarin (*Citrusdeliciosa* Tenore)**. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* vol.38 no.6 Viçosa, 2014.

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C.; LEÃO, T. P.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. **Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras**. *Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB. v.16, n.2, p.189–193, 2012.

SILVA, E. F.S. *et al.* **Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, DF, v. 46, p. 1321-1331, 2011.

SILVA, A. K. O.; SILVA, H. P. B. **O processo de desertificação e seus impactos sobre os recursos naturais e sociais no município de Cabrobó – Pernambuco – Brasil**. *Macapá*, v. 8, n. 1, p. 203-215, 2015.

SILVA, M. S. L. da. *et al.* **Gênese do Adensamento Subsuperficial em Solos de Tabuleiro do Semiárido do Nordeste do Brasil: Micromorfologia**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos;

Recife, PE: Embrapa Solos – UEP. 37 p, 2012.

SILVA, L. S.; MARINHO, M. A.; MATSURA, E. E.; COOPER, M.; RALISCH, R. **Morphological and micromorphological changes in the structure of a rhodic hapludox as a result of agricultural management.** Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.39 n.1 Viçosa-MG. 2015.

SILVA, F. G. C. S., PACHECO, J. S. **Processo de desertificação: estudo de caso em Irauçuba-CE.** Revista Eletrônica Teccen. (s.l.) 09 (1): 47-51, 2016.

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, Brasília: IPEA, 1995.

SOUSA, A. R., *et al.* **Caracterização e interpretação de um Planossolo háplico eutrófico do agreste pernambucano, Brasil.** Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, vol. 10, p.271-279, 2013.

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

SOUZA, B. I. F.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. **Caatinga e desertificação.** Mercator, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, 2015.

SOUZA, B. I.; MACÊDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F. **Temperatura dos solos e suas influências na regeneração natural da caatinga nos cariris velhos – PB.** Curitiba, v.35, p.261 - 287, 2015.

SU, Y. Z.; ZHAO, H. L.; ZHANG, T. H. & ZHAO, X. Y. **Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China.** Soil Tillage Res. (s.l.) 75:27-36. 2004.

VALONE, T. J. & SAUTER, P. **Effects of long-term cattle enclosure on vegetation and rodents at a desertified arid grassland site.** Journal of Arid Environments. (s.l.) 61:167-170. 2005.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola.** R Bras Ci Solo. Viçosa- MG. v.35, p.213-223, 2011.

VILARINHO, N. K. C.; KOETZ, M.; SCHLICHTING, A. F.; SILVA, M. C. M.; SILVA, E. M. B. **Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo.** Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. Fortaleza, v. 7, n. 1, p. 17-26, 2013.

YONG-ZHONG, S.; YU-LIN, L.; JIAN-YUAN, C. & WEN-ZHI, Z. **Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China.** Catena. (s.l.) 59:267-278. 2005.

ZHAO, H. L.; ZHOU, R. L.; SU, Y. Z.; ZHANG, H.; ZHAO, L. Y. & DRAKE, S. **Shrub**

facilitation of desert land restoration in the Horqin Sand Land of Inner Mongolia.
ecological engineering 31 p. 1–8 (2007).