



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

QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SUBMETIDO À PRÁTICA DE POUSIO EM ÁREA
SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO

FORTALEZA
2017

PRISCILLA ALVES DA COSTA BARBOSA

**QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SUBMETIDO À PRÁTICA DE POUSIO EM ÁREA
SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em Ciência do Solo. Área de concentração Manejo do Solo e da Água.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero

FORTALEZA

2017

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)

- B211q Barbosa, Priscilla Alves da Costa.
QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SUBMETIDO À PRÁTICA DE POUPIO EM ÁREA SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO / Priscilla Alves da Costa Barbosa. – 2017.
85 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Espindola Romero.
1. Degradação do solo. 2. Índices de qualidade. 3. Exclusão de animais. 4. Superpastejo. I. Título.
CDD 631.4

PRISCILLA ALVES DA COSTA BARBOSA

**QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SUBMETIDO À PRÁTICA DE POUPIO EM ÁREA
SOB PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em
Ciência do Solo da Universidade Federal do
Ceará, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em Ciência do
Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e
da Água.

Tese aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq-USP)

A Deus.

A minha família.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Eterno Deus, meu mantenedor e Senhor.

A minha mãe, por seu extenso amor, dedicação e por sempre acreditar em mim.

Ao meu esposo, Fellipe Barbosa, por todo amor, incentivo e compreensão.

Aos meus sogros, Raimundo Nonato e Marli Barbosa, por serem como pais para mim.

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de pós-graduação.

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

Ao Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero, pelos conselhos, ensinamentos, amizade e por me orientar.

Ao Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira, que mesmo distante fisicamente, sempre esteve disposto a me ajudar, pelos seus ensinamentos, conselhos, amizade e por aceitar fazer parte da banca examinadora.

A Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes da Costa, pelos conselhos, ajuda e por todo incentivo. Ao Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota pela ajuda em algumas análises e por sempre estar disposto a ajudar.

Aos professores, Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, Dra. Eunice Maia de Andrade e Dr. Raimundo Nonato Távora Costa por terem aceitado participar da banca examinadora.

Aos meus amigos da pós-graduação, Daniel Pontes, Isabel Cristina e Dimitri Matos, pelos incentivos e palavras amigas.

As minhas amigas Carol Araújo e Camille Lima pela amizade.

Ao Clube de desbravadores Siloé, que me ajudou a me reerguer e me sentir feliz.

Aos meus amigos, Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães, Amanda Guimarães, Felipe Amorim, Aline Alencar, Wesley Queiroz, Neto Aires, Valéria Gondim, Rocherley Ferreira e Mysia Ferreira pelas orações intercessórias.

Aos funcionários da FUNCEME, Antônio José e José Tavares, pelos anos de amizade e por sempre estarem dispostos a ajudar.

A todos, que direta ou indiretamente, independente da função, grau de parentesco e ou instrução, contribuíram neste percurso. Sempre terão meus reconhecimentos e estarão em meus pensamentos. Muito obrigada!

*"O solo não é uma herança que recebemos de nossos pais, mas sim um patrimônio
que tomamos emprestado de nossos filhos"*

Lester Brow

RESUMO

As regiões de clima semiárido são susceptíveis a vários tipos de degradações devidos suas características edafoclimáticas e principalmente a ações predatórias do homem, o qual pode acarretar na improdutividade do solo e, em certas situações, levar ao processo de desertificação. O processo de desertificação consiste na degradação de terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas. Uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas é a prática do pousio, mas pouco se sabe sobre seu efeito em áreas desertificadas. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de indicadores físicos, a recuperação da qualidade do solo em uma área de pousio, por 15 anos, em comparação a uma área em processo de desertificação. As áreas selecionadas para o estudo estão localizadas no município de Irauçuba, no Estado do Ceará, Brasil. Foram avaliadas duas áreas, uma degradada pelo superpastejo, em processo de desertificação e outra em pousio há 15 anos. Em cada uma das áreas foram abertas oito minitrincheiras e a coleta das amostras foi realizada nas profundidades de 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m. Os atributos físicos avaliados foram: granulometria, argila dispersa em água, grau de floculação, análise morfoscópica da areia, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, estabilidade de agregados, diâmetro médio ponderado, resistência tênsil e velocidade de infiltração. Os atributos químicos foram: pH, cálcio, magnésio, potássio, sódio e carbono orgânico. Observou-se aumento da argila dispersa em água na área de superpastejo e maior grau de floculação na área de pousio. Foi verificado, valor crítico de densidade do solo na profundidade de 0,0-0,1m na área de superpastejo. A velocidade de infiltração foi maior na área de pousio. Os valores de porosidade total foram baixos nas duas áreas, com menor valor na área de superpastejo. Maiores valores de resistência tênsil foram observados na área de superpastejo. Porém nenhuma das variáveis citadas acima teve diferença estatística. A prática de pousio, em área desertificada, não promoveu melhoria significativa na qualidade física do solo avaliado, porém observa-se uma tendência de melhora em alguns atributos do solo nessa área.

Palavras-chave: Degradação do solo. Índices de qualidade. Exclusão de animais. Superpastejo.

ABSTRACT

The regions of semiarid climate are susceptible to several types of degradations due to their edaphoclimatic characteristics and mainly to the predatory actions of man, which can lead to soil unproductivity and, in certain situations, lead to the desertification process. The desertification process consists of land degradation in arid, semiarid and dry sub-humid areas resulting from various factors, including climatic variations and human activities. An alternative for the recovery of degraded areas is fallow practice, but little is known about its effect on desertified areas. Thus, the objective of this work was to evaluate, through physical indicators, the recovery of soil quality in a fallow area, for 15 years, compared to an area in the process of desertification. The areas selected for the study are located in the municipality of Irauçuba, in the State of Ceará, Brazil. Two areas were evaluated, one degraded by the superpastejo, in the process of desertification and the other in fallow 15 years ago. In each of the areas eight mini-trenches were opened, at depths of 0.0-0.1, 0.1-0.2 and 0.2-0.3 m. The physical attributes evaluated were: granulometry, dispersed clay in water, flocculation degree, morphoscopic analysis of sand, soil density, particle density, total porosity, aggregate stability, weighted average diameter, tensile strength and infiltration velocity. The chemical attributes were: pH, calcium, magnesium, potassium, sodium and organic carbon. It was observed an increase of the clay dispersed in water in the area of superpastejo and greater degree of flocculation in the area of fallow. It was verified, critical value of soil density in depth of 0,0-0,1m in the area of superpastejo. The rate of infiltration was higher in the fallow area. The values of total porosity were low in both areas, with lower value in the superpastejo area. Higher values of tensile strength were observed in the superpastejo area. However, none of the variables mentioned above had a statistical difference. The fallow practice, in a desertified area, did not promote a significant improvement in the physical quality of the evaluated soil.

Keywords: Soil degradation. Quality indices. Exclusion of animals. Overgrazing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Áreas Susceptíveis a Desertificação no Brasil.....	23
Figura 2-	Localização dos núcleos de desertificação apontados pelo Programa de Ação Estadual de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca.....	24
Figura 3-	Localização do município de Irauçuba-Ceará.....	36
Figura 4-	Dados de precipitação pluvial média anual (Pr) e evapotranspiração de referência média anual (ET0), de Irauçuba-CE.....	37
Figura 5-	Imagem de satélite das áreas experimentais, localizadas no município de Irauçuba-CE.....	39
Figura 6-	Áreas de estudo localizadas no município de Irauçuba-CE.....	40
Figura 7-	Imagem de satélite das áreas de estudo, com o esquema de localização das minitrincheiras representando as repetições, no município de Irauçuba-CE...	41
Figura 8-	Detalhe do agregado do solo colocado em posição mais estável entre duas placas metálicas (a) e (b); A célula de carga acoplada à extremidade inferior do êmbolo do atuador eletônico e a um microcomputador (c).....	44
Figura 9-	Argila dispersa em água (ADA) nas áreas de pousio e superpastejo.....	49
Figura 10-	Grau de floculação nas áreas de pousio e superpastejo.....	50
Figura 11-	Estabilidade de agregados (4,76- 2,00 mm) em água nas áreas de pousio de superpastejo.....	57
Figura 12-	Diâmetro médio ponderado nas áreas de pousio e superpastejo.....	59
Figura 13-	Morfoscopia da fração areia grossa das áreas de pousio e superpastejo.....	60
Figura 14-	Resistência tênsil dos agregados nas áreas de pousio e superpastejo.....	62
Figura 15-	Dispersão dos atributos físicos e químicos em duas áreas (pousio e superpastejo).....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Uso, localização e tipo de vegetação das áreas experimentais em Irauçuba – CE.....	38
Tabela 2-	Valores médios de argila, silte e areia nas duas áreas analisadas (pousio e superpastejo).....	47
Tabela 3-	Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para atributos físicos do solo de argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF).....	48
Tabela 4-	Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para atributos físicos do solo: densidade de partículas (DP), densidade do solo (DS) e porosidade total (PT).....	51
Tabela 5-	Valores médios de densidade de partículas do solo nas duas áreas analisadas (pousio e superpastejo).....	52
Tabela 6-	Valores médios de densidade do solo nas duas áreas analisadas (pousio e superpastejo).....	53
Tabela 7-	Valores médios de porosidade total nas duas áreas analisadas (pousio e superpastejo).....	54
Tabela 8-	Valores médios de velocidade de infiltração nas duas áreas analisadas (pousio e superpastejo).....	55
Tabela 9-	Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para atributos físicos do solo, estabilidade de agregados (EA) e diâmetro médio ponderado (DMP).....	56
Tabela 10-	Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para o atributo físico do solo resistência tênsil (RT).....	61
Tabela 11-	Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para o atributos químicos do solo, pH em H ₂ O e pH em KCL.....	64
Tabela 12-	Valores de pH em H ₂ O e pH em KCL nas duas áreas analisadas.....	64
Tabela 13-	Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para os atributos químicos do solo.....	65
Tabela 14-	Atributos químicos (cálcio, magnésio, sódio, potássio e carbono orgânico) nas duas áreas analisadas.....	66

Tabela 15-	Autovalores e percentual da variância explicada por cada componente.	68
Tabela 16-	Correlação dos atributos analisados com os componentes principais (CP) obtidos a partir dos atributos analisados.....	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Degradações dos solos em regiões semiáridas	17
2.2 Desertificação	19
2.2.1 <i>Definições</i>	19
2.2.2 <i>Causas</i>	21
2.2.3 <i>Desertificação no mundo</i>	22
2.2.4 <i>Desertificação no semiárido brasileiro</i>	22
2.2.4.1 <i>Núcleo de desertificação de Irauçuba-CE</i>	24
2.2.4.2 <i>Causas da desertificação no semiárido brasileiro</i>	26
2.3 Pousio como estratégia de recuperação de solos degradados	28
2.4 Avaliação da qualidade do solo	30
2.4.1 <i>Indicadores de qualidade física do solo</i>	32
2.4.1.1 <i>Resistência Tênsil</i>	34
2.4.2 <i>Análise morfológica</i>	34
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 Localização e caracterização das áreas de estudo	36
3.2 Amostragem	41
3.3 Atributos analisados	41
3.3.1 <i>Análises físicas com amostras de solo de estrutura deformada</i>	42
3.3.2 <i>Análises físicas com amostras de solo de estrutura indeformada</i>	45
3.3.3 <i>Análise física efetuada no campo</i>	45
3.3.4 <i>Análises químicas</i>	45
3.3.5 <i>Análises estatísticas</i>	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Análises físicas	47
4.1.1 <i>Textura do solo, argila dispersa em água e grau de floculação</i>	47
4.1.2 <i>Densidade de partículas, densidade do solo, porosidade e velocidade de infiltração</i>	51
4.1.3 <i>Estabilidade de agregados, diâmetro médio ponderado (DMP) e</i>	

<i>análise morfooscópica da areia</i>	56
4.1.4 <i>Resistência Tênsil</i>	61
4.2 Análises químicas	64
4.2.1 <i>pH em H₂O e KCL</i>	65
4.2.2 <i>Cálcio, magnésio, sódio, potássio e carbono orgânico</i>	65
4.3 Análises de componentes principais (ACP)	68
5 CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da colonização a flora, a fauna e a terra vêm sendo afetadas pelas ações predatórias do homem na busca por sobrevivência, causando ao longo dos anos uma crescente exploração dos recursos naturais. O meio ambiente que sempre desempenhou sua função depuradora com eficiência, encontra-se hoje excessivamente sobrecarregado pelas atividades antrópicas, sofrendo risco de exaustão dos seus recursos, não conseguindo em determinadas situações, recuperar-se por si só, causando degradação ambiental e consequente degradação do solo.

A degradação do solo é um dos maiores desafios da humanidade, uma vez que o solo é um dos elementos naturais mais importantes, pois a maioria dos seres vivos está sobre ele e boa parte do sustento humano é retirada dele. Consiste na perda e/ou diminuição da qualidade física, química e biológica do solo, resultante do uso não racional e da má conservação do mesmo por parte das atividades humanas, causando impacto em seus atributos, principalmente em regiões áridas e semiáridas, as quais são mais susceptíveis a degradação e propensas ao processo de desertificação.

A desertificação é um problema de dimensões globais que afeta as regiões de clima árido, semiárido e subúmido seco da Terra, resultante de vários fatores que envolvem variações climáticas e atividades humanas. Dentre os fatores que causam a desertificação, pode-se citar a retirada da cobertura vegetal, o desmatamento indiscriminado, as queimadas e o superpastejo que é considerado uma das principais causas. Com relação ao clima, ressaltam-se as prolongadas secas, as altas temperaturas, as baixas precipitações, tornando ainda mais intensas as consequências decorridas da ação humana.

Os desertos estão se expandindo e o processo de desertificação tem se acelerado cada vez mais nas últimas décadas. Cada dia torna-se mais evidente que a desertificação deve ser encarada como um fenômeno com consequências globais, sendo um problema ambiental e socioeconômico.

No Brasil toda a região do semiárido é considerada área vulnerável à desertificação, devido ao clima, as ações humanas e as condições socioeconômicas da população. Essa região apresenta a maior densidade populacional do mundo, população essa que depende da caatinga para sua subsistência, o que leva a pressão crescente sobre os recursos naturais e consequentemente, tornando-a extremamente suscetível aos processos de desertificação.

No semiárido do Ceará uma grande área de seu território encontra-se em processo de desertificação, destacando-se o município de Irauçuba como uma das áreas mais afetadas. O

superpastejo é considerado a principal causa do processo de desertificação no município de Irauçuba, pois além da grande carga animal, os mesmos consomem toda vegetação e a cobertura vegetal do solo, deixando o solo desprotegido e favorecendo a ação dos agentes erosivos, levando a perda de solo e nutrientes.

Devido a grande ocorrência do processo de desertificação em nível mundial, cada vez mais se buscam estratégias para recuperar áreas em processos de desertificação. Dentre as estratégias para recuperação de áreas degradadas, o pousio é considerado a forma habitualmente usada; seu principal fator para a recuperação da fertilidade do solo e da cobertura vegetal é o próprio poder de resiliência do solo. Essa estratégia consiste em uma prática simples, que preconiza a exclusão do uso agrícola dos solos e de animais domésticos durante um período.

Apesar da prática de pousio ser secularmente utilizada na recuperação de áreas degradadas em todo o mundo, pouco se sabe sobre sua eficiência na recuperação de áreas em processo de desertificação, sendo, portanto, imprescindível o estudo da eficiência do uso dessa prática na recuperação dos atributos relacionados à qualidade dos solos em áreas sob processo de desertificação, pois esse fenômeno já atingiu mais de um bilhão de hectares de terras no mundo e ameaça cerca de 3,2 bilhões hectares de terra afetando a vida de mais de 700 milhões de pessoas. Para com isso, obter dados que subsidiem o uso de práticas de manejo sustentáveis na recuperação de áreas em processo de desertificação e servir como base para difusão de futuras práticas e tecnologias de controle no processo de desertificação.

Com base no exposto este trabalho partiu da hipótese de que a prática de pousio empregada há 15 anos em uma área sob processo de desertificação, promove alterações nos atributos físicos do solo dessa área de modo a promover melhoria no mesmo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de indicadores físicos, a qualidade e recuperação do solo da área em pousio por 15 anos em comparação com a área em processo de desertificação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Degradação dos solos em regiões semiáridas

A degradação do solo é um dos maiores desafios da humanidade. Apesar de o problema ser tão antigo quanto à própria agricultura, sua extensão e impacto na qualidade de vida do homem e do ambiente são hoje mais expressivos. Cerca de seis milhões de hectares de terras agrícolas em todo o mundo se tornam improdutivas a cada ano devido aos vários processos de degradação do solo (ASIO *et al.*, 2009). Estudos mostram que houve um aumento significativo nos processos de degradação do solo nos últimos anos, e há evidências de que esses processos irão aumentar ainda mais se nenhuma ação for tomada (MONTANARELLA, 2007).

A degradação do solo refere-se à redução ou perda da produtividade biológica, redução da complexidade de agricultura de sequeiro, agricultura irrigada, das pastagens, florestas e matas resultantes de utilizações da terra ou a um processo ou combinação de processos decorrentes de atividades humanas e padrões de habitação de acordo com a Convenção das Nações Unidas para Combate à Desertificação (UNCCD, 1994).

Para a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), tal degradação é o processo pelo qual os solos têm sua qualidade reduzida e, assim, tornam-se menos aptos para fins específicos, tal como a produção vegetal (MATALLO JR, 2009). Desse modo, a degradação do solo é considerada um problema grave em regiões áridas e semiáridas que são consideradas frágeis, e é usada para descrever os fenômenos ambientais que afetam solos em regiões secas (SALVATI; ZITTI, 2009; SALVATI *et al.*, 2011).

A porção semiárida do Nordeste brasileiro compreende uma área de cerca de 900.000 km², quase toda no embasamento cristalino e sob forte irregularidade climática. O clima e a qualidade das terras apresentam limitações muito fortes para o desenvolvimento de atividades agropecuárias. A baixa produtividade das terras deve-se, em grande parte, à deficiência hídrica, ao manejo inadequado, particularmente em terrenos de topografia acidentada, e à falta de sistemas de drenagem (MATALLO JR., 2009).

No semiárido nordestino, a degradação dos recursos naturais e, especialmente, a diminuição da fertilidade do solo, têm sido provocadas pelo aumento da intensidade do uso do solo e redução da cobertura vegetal nativa (MENEZES; SAMPAIO, 2002). Nessa região, aproximadamente 33% das terras apresentam susceptibilidade natural muito baixa e baixa à

degradação, 34% média e 33% têm classe de susceptibilidade natural alta e muito alta. Apesar dessas características, a atividade humana é apontada como a principal responsável pela desertificação, em especial o corte de árvores, o pastoreio excessivo e a exploração exagerada ou inadequada das terras cultiváveis (LACERDA; LACERDA, 2004).

Dentre as condições climáticas que contribuem para a degradação no semiárido, destacam-se as estiagens constantes, as baixas precipitações (variando entre 300 a 900 mm ano⁻¹), as elevadas temperaturas (médias de 23 a 27°C), resultando em um potencial de evapotranspiração que excede 2.000 mm ano⁻¹ (KROL *et al.*, 2006).

Nessa região, a retirada da caatinga - vegetação nativa, aliada a longos períodos de estiagem, provoca acentuada degradação do solo, deixando-o descoberto e exposto por mais tempo à ação dos agentes climáticos, reduzindo seu potencial produtivo, causando danos muitas vezes irreversíveis ao meio (SOUTO *et al.*, 2005; SAMPAIO; ARAÚJO, 2005; MENEZES; GARRIDO; PEREZ, 2005).

A extração de madeira da 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 de caatinga sofreu redução de sua biomassa, área basal e alterou o número de espécies com o aumento da intensidade da queimada, sendo todas estas variáveis quantitativamente menores que a vegetação que sofreu o corte mais não a queima, indicando o efeito negativo desta prática ainda muito comum no semiárido brasileiro, possibilitando condições para o avanço da degradação e desertificação das áreas agrícolas.

De acordo com Coelho *et al.* (2014) as mudanças no uso e ocupação dos recursos naturais (solo, vegetação e água), provocadas pelas interferências antrópicas, têm gerado impactos negativos no ecossistema. Isso ocorre, pois com o crescimento de áreas exploradas com pastagens, a vegetação nativa do semiárido é substituída por uma paisagem devastada, heterogênea e fragmentada, podendo influenciar na disponibilidade e na qualidade dos recursos naturais, além de afetar a biodiversidade das áreas por ocasião da exploração intensa dos recursos.

O uso intenso do solo, com a ausência de práticas conservacionistas, influencia diretamente na degradação das suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Os principais processos de deterioração dessas propriedades estão associados à erosão hídrica e eólica, perdas da matéria orgânica, o acúmulo excessivo de sais no solo, a lixiviação de nutrientes e o acúmulo de metais tóxicos, além de mudanças na estruturação, porosidade, permeabilidade e densidade do solo (SIQUEIRA; SOARES; SILVA, 2008).

A degradação das terras no semiárido está intimamente relacionada com a produção animal, que está associada às ações de derrubada da vegetação natural; grande aporte animal, causando superpastejo das áreas; solos expostos à ação dos agentes erosivos; redução nos teores e aporte de material orgânico ao solo; consequente redução da produção agropecuária; redução no tamanho das propriedades agrícolas e na renda do agricultor (SAMPAIO *et al.*, 2005). O baixo nível tecnológico e o manejo inadequado das extensas áreas no semiárido brasileiro, sem considerar potencialidades e limitações da região, vêm causando degradação tanto de pastos nativos como plantados.

De acordo com Perez-Marin *et al.* 2012, há cerca de 200 mil km² de terras degradadas no semiárido brasileiro e, somando essas áreas com àquelas em processo de desertificação, o total de área atingida pelo fenômeno alcança, aproximadamente, 600.000 km², ou seja, cerca de 1/3 de todo o território nordestino.

2.2 Desertificação

A degradação das terras nas regiões semiáridas associada ao contexto climático severo e à utilização inapropriada do solo, provoca um problema maior e de difícil reversão que é conhecido como desertificação.

2.2.1 Definições

Diversos povos antigos registraram a ocorrência da desertificação em seus territórios, mesmo não utilizando este vocábulo “desertificação” (SOUZA; SUERTEGARAY; LIMA, 2010). O fenômeno “desertificação” passou a ser estudado pela comunidade científica a partir da década de 1930, devido a uma tempestade de areia que ocorreu no meio oeste americano conhecido como “*Dust Bowl*”.

O termo “desertificação” foi usado pela primeira vez por Lavauden no contexto da baixa produtividade das pastagens em terras mal manejadas na Tunísia (DREGNE, 2002). No entanto, este termo é mais comumente creditado a Aubreville, que observou que o desmatamento da floresta na África Ocidental causou erosão e deterioração da terra ou “desertificação”. Em ambos os casos, desertificação, foi utilizada para designar o resultado de um processo de degradação da terra induzida pela ação humana e uso de terras pobres (D’ODORICO *et al.*, 2013).

Somente no início dos anos 1970, com a ocorrência de uma grande seca na região do Sahel, na África, onde mais de 500 mil pessoas morreram de fome, que a comunidade

internacional reconheceu o impacto econômico, social e ambiental do problema, instalando um programa mundial de ação para combater a desertificação (IICA, 2013).

A desertificação descreve a degradação das terras nas zonas áridas (ADAMO; CREWS-MEYER, 2006) e afeta cerca de um terço da superfície da Terra, principalmente nos países em desenvolvimento (UNCCD, 2002). Para diferenciar degradação do solo e desertificação a UNCCD (1999) define a desertificação como um processo de degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de atividades humanas e das variações climáticas.

Para o enquadramento das regiões como áridas, semiáridas e subúmidas secas, foi entendido que estas devem ser definidas conforme o Índice de Aridez (IA), que depende da razão entre a quantidade de água advinda da chuva (P) e da perda máxima possível de água por meio da evapotranspiração (ETP), ou evapotranspiração potencial, critério estabelecido pelas Nações Unidas (UNESCO, 1979).

A desertificação é o resultado de interações complexas entre fatores biofísicos e humanos, que podem variar dentro de uma vasta gama de escalas espaciais e temporais, e quantificar esses fatores é extremamente desafiador (MEA, 2005). Além disso, as causas e consequências da desertificação vêm sendo amplamente debatidas e nenhum consenso ainda foi estabelecido em relação aos métodos adequados de acompanhamento e avaliação (VERON; PERUELO; OESTERHELD, 2006).

Ainda conceituando o fenômeno da desertificação, Abílio e Florentino (2010) afirmam que esta significa a destruição da base dos recursos naturais, a qual é consequência da ação do homem sobre o ambiente e de fenômenos naturais, como a variabilidade climática e condições edáficas locais.

A falta de um consenso na definição de desertificação e de técnicas padronizadas para medir suas causas e consequências, resulta em diferentes estimativas de sua extensão espacial. Mesmo que algumas dessas estimativas possam superestimar a real extensão do problema, há um consenso geral de que a desertificação está acontecendo em um ritmo alarmante, contribuindo para o esgotamento dos recursos do solo em pastagens áridas e semiáridas e em terra cultivada (D'ODORICO *et al.*, 2013).

Pesquisadores e ambientalistas têm apontado a desertificação como um dos mais graves problemas nos dias atuais devido aos danos que pode causar, de ordem política, econômica, social, cultura e ambiental (BARROS *et al.*, 2008). Na produção agrônômica, a degradação pode ser um problema reversível e controlado, enquanto a desertificação é um

processo permanente e praticamente irreversível, com uma perda quase total do potencial agrícola (BASSO *et al.*, 2000).

2.2.2 Causas

As variações climáticas não são os únicos fatores que conduzem os processos de degradação das terras. Por isso, é importante considerar efeitos antrópicos, como por exemplo, a distribuição espacial de uma população, assumindo que as atividades humanas e seu crescimento são fatores importantes envolvidos na desertificação (BECERRIL-PINÃ *et al.*, 2015).

Segundo Pachêco, Freire e Borges (2006), o processo de desertificação se inicia pela redução da cobertura vegetal e/ou devido aos efeitos climáticos. A retirada da cobertura vegetal é realizada para formação de pastagens, para ser utilizada como fonte de energia na forma de lenha ou carvão. Com relação ao clima, ressaltam-se as prolongadas secas, as altas temperaturas, as baixas precipitações, tornando ainda mais intensas as consequências decorridas da ação humana. A associação desses fatores reduz o aporte de matéria orgânica, favorece a incidência solar diretamente no solo, secando-o mais rapidamente, favorecendo a erosão e aumentando a aridez (PACHÊCO; FREIRE; BORGES, 2006; SÁ *et al.*, 2010)

Além disso, pode-se destacar também o desmatamento indiscriminado, as queimadas, o superpastejo, a redução dos períodos de pousio dos campos de cultivos ou pastagem, o emprego de tecnologias não apropriadas, as quais destroem a cobertura vegetal e desgastam o solo devido ao uso intensivo e manejo inadequado, podendo levar à desertificação (SÁ *et al.*, 2010).

Por ser um processo dinâmico, é difícil determinar uma causa específica para a desertificação das terras, tendo em vista que ela geralmente resulta de um emaranhado de causas e efeitos que se entrelaçam, formando um quadro complexo (SAMPAIO; SAMPAIO, 2002). Entretanto, dentre tantas causas para a degradação e desertificação, a considerada mais relevante hoje em dia é o superpastejo, pois a pressão de pastejo pode impossibilitar o reestabelecimento da vegetação que já está debilitada pelos fatores ambientais (ARAÚJO FILHO, 2013).

2.2.3 Desertificação no mundo

Os desertos estão se expandindo pelo mundo e os processos de desertificação têm acelerado em muitas regiões nas últimas duas décadas: a área anual de desertificação aumentou de 1560 km², em 1950, para 2.460 km², em 1990 de acordo com a Administração Meteorológica da China (CMA, 2002). Terras secas cobrem cerca de 30% da superfície da Terra e mais de 250 milhões de pessoas são diretamente afetadas pelo processo de desertificação (REYNOLDS *et al.*, 2007). Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2015), mais de 30% dos solos do mundo já se encontram em estado de degradação.

Radnaev e Mikheeva (2011) relatam que, no total, mais de 1 bilhão de hectares de terras no mundo estão em processo de desertificação. No futuro, a desertificação ameaça cerca de 3,2 bilhões ha de terras, nos quais vivem mais de 700 milhões pessoas. Na maior parte dos países da América Latina e Caribe, a desertificação adquiriu dimensões ambientais e sociais importantes durante o século passado (QUEZADA; SANTIBÁNEZ-VARNERO, 2009). Na Argentina, 70% a 80% da superfície do país são susceptíveis à desertificação. No Brasil, toda a região do semiárido é considerada área vulnerável (CARVALHO, 2015).

2.2.4 Desertificação no semiárido brasileiro

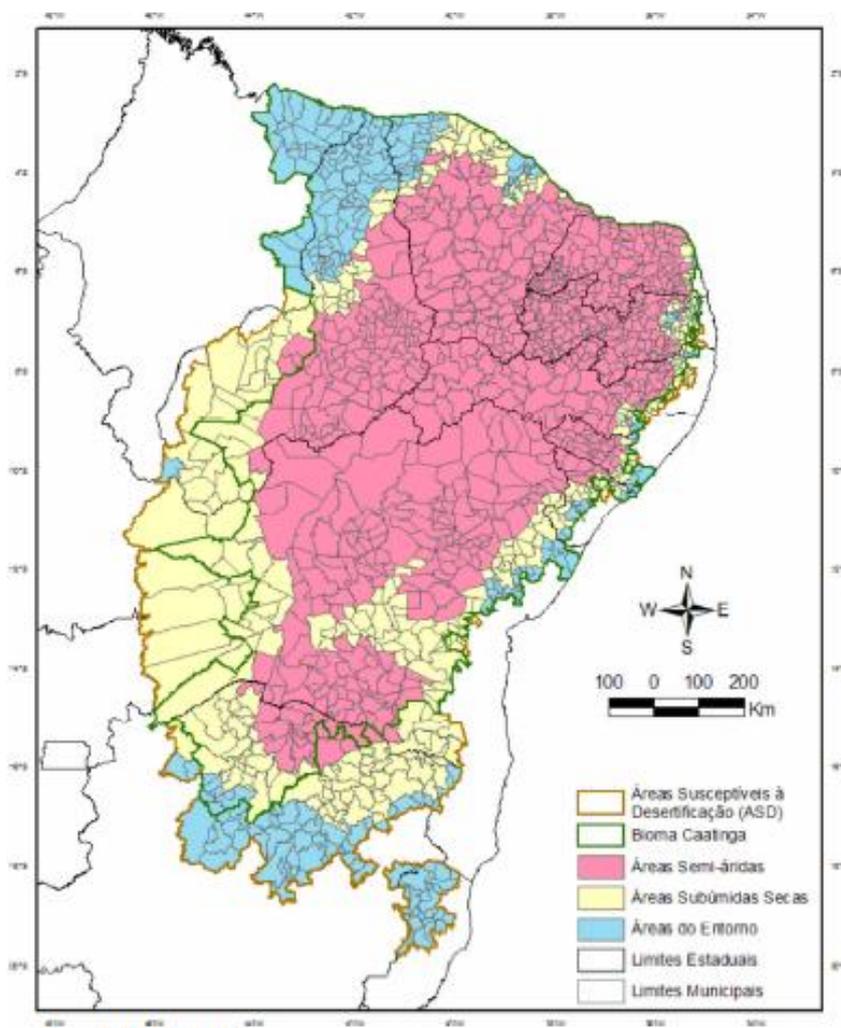
O semiárido brasileiro é caracterizado como uma região com temperaturas médias anuais que atingem 27 a 29 °C; evaporação média de 2.000 mm ano⁻¹; umidade relativa do ar média em torno de 50%; precipitações irregulares no tempo e no espaço, concentrando-se em três a quatro meses, com médias anuais máximas 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 forte característica desta região, com chuvas, muitas vezes, insuficientes para atender a demanda agrícola, animal e humana por água.

Estudos indicam que áreas do tamanho de 2.000 km² se transformam em deserto a cada ano devido à ausência de chuvas. Cerca de 36% do Brasil apresenta risco de desertificação, encontrando-se já 28% desta área afetada por esse fenômeno. Uma área maior do que o estado do Ceará já foi atingida pela desertificação de forma grave no Nordeste (SÁ *et al.*, 2010).

No Brasil, a extensão nacional das Áreas Susceptíveis a Desertificação (ASD) (Figura 1) abrangem o trópico semiárido, subúmido seco e áreas de entorno, que

compreendem aproximadamente 1.340.863 km² e abrangem um total de 1.488 municípios nos nove Estados do Nordeste, além do norte de Minas Gerais e do norte do Espírito Santo de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007).

Figura 1. Áreas Susceptíveis a Desertificação no Brasil.



Fonte: BRASIL (2004)

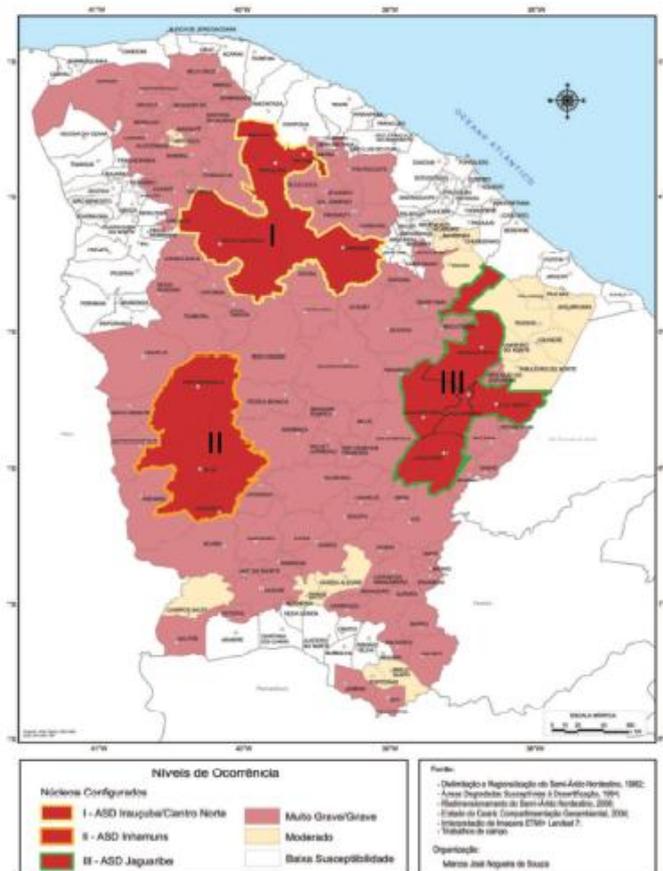
Conforme dados de Soares *et al.* (1995), o Ceará possui 14% de sua área susceptível ao processo de desertificação, destacando-se o município de Irauçuba e a região dos Inhamuns e do médio Jaguaribe, como as áreas mais afetadas. Segundo Brasil (2004), o Estado do Ceará possui 105 municípios na região semiárida susceptível ao processo de desertificação, sendo superado 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 *et al.*, 1993; SOARES *et al.*, 1995).

Vasconcelos Sobrinho (1982) sugeriu a delimitação de quatro núcleos de desertificação no Brasil (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), os quais serviram de base para o atual mapeamento de ocorrência de desertificação na região nordeste (BRASIL, 2004).

2.2.4.1 Núcleo de desertificação de Irauçuba-CE

No Ceará, as áreas mais susceptíveis a desertificação (ASDs), estão classificadas em três núcleos de desertificação (Figura 2): Núcleo I - Sertões de Irauçuba e Centro-Norte, abrangendo os municípios de Irauçuba, Santa Quitéria, Miraíma e Canindé; Núcleo II - Sertões dos Inhamuns, abrangendo os municípios de Arneiroz, Independência e Tauá; e Nucleo III - nos Sertões do Médio Jaguaribe, abrangendo os municípios de Jaguaretama, Jaguaribe, Alto Santo e Morada Nova (CEARÁ, 2010).

Figura 2 – Localização dos núcleos de desertificação apontados pelo Programa de Ação Estadual de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca.



Fonte: CEARÁ (2010).

O Núcleo de Irauçuba está localizado no oeste do Estado do Ceará, na região fitogeográfica dos Inhamuns. Compreende uma área afetada de 4.099,22 km² com população rural de 35 mil habitantes (PINTO; CARVALHO; ALVALÁ, 2009). Sua caracterização como Núcleo de Desertificação está particularmente relacionada à classe de solo predominante da região: Os Planossolos Nátricos e Hápticos. São solos minerais formados por horizonte A e/ou E, com transição abrupta para o horizonte B plânico. 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 obedecem aos requisitos para Gleissolo, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Em termos geológicos, o núcleo está assentado na província do Escudo Oriental Nordeste, na subprovíncia Nordeste, onde predominam rochas cristalinas, tais como granitos e xistos, com os aquíferos formados a partir de fissuras e diáclases (OLIVEIRA; SALES, 2015).

O bioma Caatinga é predominante no município de Irauçuba (LANDIM; SILVA; ALMEIDA, 2011) sendo formado por uma vegetação arbustiva e espinhenta, na qual a maioria das árvores perde suas folhas nos períodos de estiagem, deixando de proteger o solo dos raios solares e do vento determinando, assim, uma menor proteção ao solo e favorecendo os processos de erosão.

As áreas sobre os Planossolos estão recobertas por uma caatinga savanada, com presença de gramíneas, árvores esparsas e arbustos isolados e, esporadicamente, com afloramentos rochosos e com cobertura arbustiva arbórea média abaixo de 20% e densidade de cerca de 200 plantas/ha. Pau branco (*Auxemma oncocalyx*), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), jurema preta (*Mimosa hostilis*) e mofumbo, perfazem o estrato lenhoso. A camada herbácea das áreas de Luvisolos e Argissolos é de baixa biodiversidade, tendo como espécies forrageiras principais a erva de ovelha (*Stylosanthes humilis*), a vassourinha (*Stylosanthes angustifolia*), a urinana (*Zornia bracteata*) e o capim açu (*Paspalum milegrana*). O capim panasco, no entanto, predomina nas áreas superpastejadas (OLIVEIRA; SALES, 2015).

As principais atividades econômicas do município de Irauçuba são a pecuária extensiva e a agricultura, que aliadas ao clima semiárido e a ausência de práticas conservacionistas, proporcionam uma menor proteção ao solo e uma perda na diversidade microbiana por causa da redução no seu conteúdo da matéria orgânica.

O núcleo de Irauçuba apresenta evidências da susceptibilidade à desertificação, destacando-se: a destruição desordenada da cobertura vegetal, a erosão laminar acentuada, o assoreamento dos rios e barragens, o superpastejo, o empobrecimento da biodiversidade, a caça predatória, o descompasso entre a exploração dos recursos naturais e sua capacidade de recuperação e o consequente aumento da vulnerabilidade da capacidade produtiva dos recursos naturais em ambientes progressivamente degradados (CEARÁ, 2010).

Estudos envolvendo o Núcleo de desertificação de Irauçuba vêm aumentando com o decorrer dos anos, dentre os quais se destacam Sousa *et al.* (2012), que estudaram a degradação do solo por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação; Cunha Filha (2011), que estudou os efeitos da aplicação de tortas de pinhão manso e mamona no crescimento do feijão-caupi e nas propriedades químicas e biológicas de um solo degradado, e Almeida; Oliveira; Araújo (2012), que estudaram o impacto das ações de recuperação da degradação sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em Irauçuba-CE.

Alencar e Cruz (2012) relatam em seus estudos que as condições atuais de uso e ocupação do solo do município de Irauçuba-CE, têm ocorrido de maneira indiscriminada, produzindo impactos ambientais causadores de diminuição da biodiversidade local, assoreamento dos rios, perdas por erosão das camadas superficiais do solo, compactação do solo devido ao superpastejo do gado bovino e ovino caprino, e a eliminação da vegetação presente nas áreas.

2.2.4.2 Causas da desertificação no semiárido brasileiro

A região semiárida brasileira é considerada uma das mais vulneráveis às mudanças climáticas e, conseqüentemente, ao fenômeno de desertificação. Os impactos oriundos do aumento da temperatura e das variações na precipitação afetam a produção agrícola, os recursos hídricos, a demanda por irrigação, a biodiversidade e, conseqüentemente, aceleram o processo de desertificação (ANGELOTTI; SÁ; MELO, 2009).

A erosão hídrica é extremamente preocupante na região semiárida. As primeiras chuvas ocorrem quando a vegetação apresenta poucas folhas ou está totalmente desprovida de folhas, facilitando a ação erosiva (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005). A erosão deixa marcas visíveis na paisagem, com surgimento de sulcos e voçorocas, mas também pode agir de forma silenciosa e pouco perceptível, por meio de erosão laminar que reduz drasticamente a profundidade efetiva do solo em algumas décadas.

Segundo Galindo (2008), a principal característica do fenômeno da desertificação no semiárido nordestino é a presença de manchas de solo exposto, apresentando solos rasos, sem capacidade de retenção de água, e com limitações físicas e químicas que aumentam a vulnerabilidade ecológica para a desertificação. Além dos aspectos relacionados à vegetação e aos solos predominantes no semiárido, o clima também contribui com a degradação nessa região.

Dentre as condições climáticas que contribuem para a degradação no semiárido, destacam-se a menor precipitação nessa região, em comparação as outras regiões do país, a irregularidade de precipitação no tempo e períodos de seca. Essas condições climáticas resultam em solos pouco desenvolvidos, muitas vezes rasos os quais são suscetíveis à ação erosiva, formando-se enxurradas com facilidade e conseqüentemente degradando o solo. Além disso, essa baixa precipitação e o período de seca resultam em uma vegetação caducifólia, característica do bioma caatinga.

Entretanto, a ação antrópica também é relevante na degradação associada à desertificação. A ação antrópica sobre os ecossistemas do semiárido nordestino se manifesta na exploração de três atividades: agricultura, pecuária e extração de madeira, as quais são exploradas de forma intensa, afetando diretamente os recursos naturais renováveis da caatinga, sendo que, na pecuária, predomina o superpastejo das áreas por animais de médio e grande porte (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2007).

Araújo Filho (2013) afirma que o regime de criação de bovinos, caprinos e ovinos no semiárido cearense, é predominantemente extensivo, baseado em condições de superpastejo das áreas trabalhadas, sendo que a vegetação nativa do bioma caatinga é muitas vezes a principal fonte de alimento para os rebanhos, gerando impacto negativo no sistema de criação com redução da capacidade de suporte do solo. Pei, Fu e Wan (2008) relataram que o superpastejo intensifica a desertificação, pois degrada a vegetação, reduz a quantidade de nutrientes essenciais ao solo e aumenta a erosão.

No semiárido brasileiro, a degradação dos recursos naturais e, especialmente, a diminuição da fertilidade do solo, têm sido provocadas pelo aumento da intensidade do uso das terras e redução da cobertura vegetal nativa (MENEZES; SAMPAIO, 2002).

Vogel *et al.* (2013) comentam que o sistema extrativista adotado na maioria das áreas no semiárido está ocasionando uma má utilização dos recursos naturais (solo, vegetação e água), em que o solo é o mais afetado devido à ausência da cobertura vegetal, não reposição de nutrientes e diminuição da matéria orgânica. Neste sentido, Reynolds *et al.* (2007) afirmam que o pastoreio por gado é considerado o principal fator que promove a desertificação.

O superpastejo pode agravar o impacto da seca e da desertificação modificando o microclima do ecossistema local, alterando a interação solo-água-planta, expondo o solo desprotegido aos fatores erosivos (SIVAKUMAR, 2007). Aliás, no sistema de pastoreio contínuo, mesmo na ocorrência de chuvas, os animais permanecem na área durante todo o período favorecendo a compactação do solo e a constante depreciação da pastagem devido às longas distâncias que os animais percorrem em busca de alimento selecionado, maximizando o pisoteio (LANZANOVA, 2005). Supõe-se que sistemas alternativos ao superpastejo reduzam os problemas relacionados à degradação dos solos nas áreas susceptíveis à desertificação.

2.3 Pousio como estratégia de recuperação de solos degradados

A prática de pousio é bastante antiga e consiste em manter uma área livre da utilização agrícola e da entrada de animais domesticados – o que caracteriza as chamadas áreas de exclusão de animais, com o objetivo de promover a regeneração natural das plantas e reduzir a degradação do solo (MEKURIA *et al.*, 2011). O pousio pode ser utilizado como forma de recuperação de pastagens degradadas, com a finalidade de recompor a área de reserva legal da propriedade, ou na recuperação de áreas que não deveriam ter sido originalmente desmatadas (DIAS-FILHO, 2010).

O pousio é um meio de reverter à degradação ambiental 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) e depende das condições climáticas da região.

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.

Allington e Valone (2010) relatam que com a retirada dos animais e a redução da atividade antrópica por mais de 20 anos, foi possível a recuperação de áreas desertificadas, visto que aumentou a cobertura do solo com gramínea perene. As propriedades químicas e físicas do solo, como carbono, nitrogênio e infiltração de água, nos locais com ocorrência de desertificação podem se recuperar satisfatoriamente para suportar o restabelecimento de plantas perenes, dado o tempo suficiente e a remoção dos animais. Portanto, regiões

desertificadas podem se beneficiar com esforços de reabilitação devido à redução da compactação do solo, resultando tanto em aumento da infiltração de água, quanto do teor de nutrientes.

Em relação aos atributos físicos do solo, estudos observaram que os mesmos sofrem alterações com a implantação do pousio em áreas degradadas, ocorrendo aumento da infiltração, porosidade e redução da densidade do solo (CASTELLANO; VALONE, 2007; PEI; FU; WAN, 2008; JEDDI; CHAIEB, 2010; SOUSA *et al.*, 2012). Almeida, Oliveira e Araújo (2011) verificaram redução de 2/3 no escoamento superficial e de 83% da perda de solo após 10 anos de pousio. Com a ausência de pisoteio do gado, a estabilidade de agregados do solo é aumentada, proporcionando também o aumento da infiltração de água, o que reduz a erosão, podendo promover a acumulação e manter os nutrientes no solo (CASTELLANO; VALONE, 2007).

Estudos têm revelado que a prática de pousio promove melhora nas propriedades do solo, porém com algumas restrições que variam de acordo com a região, o clima, o tipo de solo e o tempo de adoção da prática de exclusão (MEKURIA *et al.*, 2007; PEI; FU; WAN, 2008). Nunes, Araújo Filho e Menezes (2006) verificaram que o pousio por 5 anos de uma área sob Caatinga, após uso do fogo e cultivo por 2 anos com milho e feijão, favoreceu a recuperação da qualidade do solo, o que foi constatado por meio de indicadores químicos, físicos e biológicos.

De acordo com Reeder e Schuman (2002), o processo de desertificação pode ser revertido por meio do manejo de pousio, a fim de que haja reestabelecimento da vegetação, proporcionando maior cobertura do solo e acúmulo de matéria orgânica, melhorando assim sua fertilidade e estruturação.

Quanto às modificações da vegetação no semiárido brasileiro decorrentes de superpastejo, as pesquisas mostram que a exclusão de animais domésticos das áreas afetadas por desertificação tem apresentado bons resultados no processo de recuperação e/ou regeneração da vegetação e conseqüentemente dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (SALES; OLIVEIRA, 2005).

Sousa *et al.* (2012) observaram que o pousio empregado por sete anos, resultou em maiores teores de carbono orgânico na fração lábil e na fração húmica, indicando mudanças nos teores da matéria orgânica do solo. Ferreira (2015) avaliando as mesmas áreas de pousio com diferença nos anos de exclusão, sendo este estudo 14 anos, verificou que algumas áreas apresentaram melhoria nos atributos químicos avaliados, mas a avaliação quando comparada

ao trabalho de sete anos de exclusão, foi evidenciada que as áreas ainda encontram-se em processo de degradação.

2.4 Avaliação da qualidade do solo

O solo é fundamental para a sustentabilidade e produtividade de ecossistemas naturais e agrícolas. A avaliação da qualidade do solo é uma ferramenta importante na recuperação de áreas degradadas, pois mede uma condição, um processo e a recuperação de um solo, permitindo a aquisição de informações sobre uma dada realidade com intuito de promover a melhoria de áreas degradadas.

A discussão sobre qualidade do solo intensificou-se no início de 1990, quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar nas publicações a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

O tema qualidade do solo foi definido pela primeira vez por Doran e Parkin (1994), sendo ainda utilizado nos dias atuais: “qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade por um longo período.” Karlen *et al.* (1997) apontam a qualidade do solo, complementando a definição de Doran e Parkin (1994), como a capacidade que um determinado tipo de solo apresenta, em ecossistemas naturais e agrícolas, para desempenhar uma ou mais funções relacionadas à sustentação da atividade, da produtividade e da diversidade biológica, à manutenção da qualidade do ambiente, à promoção da saúde das plantas e dos animais e à sustentação de estruturas sócio-econômicas e de habitação humana.

Alguns pesquisadores preferem a terminologia “saúde do solo” em substituição à “qualidade do solo”, justificada pelo fato daquela expressão representar mais claramente o solo como um organismo vivo e dinâmico e não como um corpo inanimado, depositário de sementes e adubos (HERRICK *et al.*, 2002).

De acordo com Silva (2003), cada tipo de solo apresenta diferente comportamento em relação à retenção e permeabilidade de água, disponibilidade de nutrientes, entre outras propriedades. Assim, Larson e Pierce (1994) definem a qualidade do solo como uma combinação de propriedades físicas, químicas e biológicas que fornecem os meios para a produção vegetal e animal, para regular o fluxo de água no ambiente e para servir como um

filtro ambiental na atenuação e degradação de componentes ambientalmente danosos ou perigosos.

A qualidade física é considerada o principal reflexo das mudanças ocorridas nos atributos do solo (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007) e que exercem forte influência sobre os processos químicos e biológicos, desempenhando papel central nos estudos da sua qualidade (DEXTER, 2004).

Gomes e Filizola (2006) afirmam que a qualidade do solo é aceita, frequentemente, como uma característica abstrata que depende, além de seus atributos intrínsecos, de fatores externos, como as práticas de uso e manejo, de interações com o ecossistema e das prioridades socioeconômicas e políticas.

Como se pode constatar, o conceito de qualidade de solo é bastante amplo, o que dificulta sua definição. Porém, independente de qual definição de qualidade do solo seja adotada ou considerada a mais completa, o fator de maior relevância é o entendimento da qualidade do solo e assim, segundo Silva (2008), possibilitar o planejamento do bom funcionamento do solo no presente sem este ser degradado no futuro.

A recuperação da qualidade do solo após a ocorrência de processos de degradação relaciona-se diretamente com o restabelecimento de suas funções na natureza (KIMPE; WARKENTIN, 1998). Assim, o estudo da qualidade do solo nas áreas em processo de recuperação por meio de práticas para esse fim é essencial, pois fornece informações sobre o comportamento das propriedades do solo, permitindo saber se o manejo adotado é o mais adequado para melhoria e/ou conservação dessas áreas e, além disso, permitindo a tomada de decisões para uma possível adoção de novas medidas de recuperação.

O estudo da qualidade do solo se dá por meio de indicadores. Cientistas do solo, agricultores e instituições governamentais têm interesse em obter um indicador de qualidade do solo para avaliar terras - em relação à degradação, estimar necessidades de pesquisa e de financiamentos e julgar práticas de manejo a fim de monitorar mudanças nas propriedades e nos processos do solo, na sustentabilidade e na qualidade ambiental, que ocorram ao longo do tempo em resposta ao uso da terra e às práticas de manejo (DORAN, 1997, HUFFMAN *et al.*, 2000)

2.4.1 Indicadores de qualidade física do solo

Indicador pode ser entendido como um instrumento e/ou técnica que permite a avaliação de um sistema e que determina o nível que esse sistema deve ser mantido para que seja sustentável. São utilizados comumente com objetivo de definir ou estabelecer padrões de sustentabilidade e inferir sobre uma dada realidade com consequente auxílio na tomada de decisão (NORTCLIFF, 2002).

Segundo Santana e Bahia Filho (1998), a avaliação da qualidade do solo pode ser realizada pelo monitoramento de seus atributos ou características físicas, químicas e biológicas. Entre estes, têm sido recomendados aqueles atributos ou indicadores que podem sofrer mudanças em médio prazo, tais como densidade e porosidade, estado de agregação e de compactação, conteúdo de matéria orgânica e nível de atividade biológica.

Segundo Doran e Parkin (1994) um indicador de qualidade do solo deve identificar um conjunto de propriedades do solo, atendendo aos seguintes critérios: elucidar processos do ecossistema e relacioná-los aos processos-modelo; integrar propriedades biológicas, físicas e químicas do solo e os respectivos processos; ser acessível a muitos usuários e aplicável em condições de campo; ser sensível a variações de manejo e de clima ao longo do tempo; e, quando possível, ser componente de banco de dados já existente.

Várias propostas de indicadores, formas e fórmulas para avaliar a qualidade do solo surgiram e, geralmente, estão relacionadas com a área de concentração dos pesquisadores (DORAN; JONES, 1996). Alguns propõem a avaliação de atributos químicos e físicos (DEXTER, 2004; LOGSDON; KARLEN, 2004; BRONICK; LAL, 2005; CHEN *et al.*, 2006); outros de atributos biológicos (PARISI *et al.*, 2005); e outros de atributos microbiológicos (BENDING *et al.*, 2004; MONOKROUSOS *et al.*, 2006).

Os indicadores visuais são bastante utilizados para verificar alterações nas condições originais dos mesmos. Podem ser usados como indicadores: a erosão, fauna do solo, vegetação, estado de decomposição e incorporação da serrapilheira, presença de fauna silvestre, entre outros. De acordo com Niero *et al.* (2010), um motivo que leva à adoção do uso de indicadores visuais da qualidade do solo é muitas vezes a difícil utilização, devido ao custo e tempo dos métodos laboratoriais, embora sejam bastante exatos e precisos.

Dentre os principais indicadores químicos de qualidade do solo destaca-se a matéria orgânica do solo (MOS) em virtude de ser altamente suscetível a alteração frente às práticas de manejo (REINERT *et al.*, 2006), além de estabelecer relação com as demais propriedades

do solo, tais como a densidade, a porosidade, a superfície específica, a estrutura e a retenção de água.

Segundo Bronick e Lal (2005), o aumento do conteúdo de matéria orgânica do solo está diretamente relacionado ao aumento da agregação do solo. Schjonning *et al.* (2002) e Reeves (1997) afirmam que o teor de matéria orgânica é o melhor indicador da qualidade do solo e da sustentabilidade do ecossistema. O aumento de carbono orgânico no solo melhora a estrutura, diminui a susceptibilidade à erosão, aumenta a retenção de água e nutrientes, é fonte de energia para a fauna, eleva a biodiversidade e abranda os efeitos do clima (LAL, 2007).

Taboada-Castro *et al.* (2009) desenvolveram pesquisas para avaliar os efeitos de matéria orgânica na recuperação de áreas degradadas e verificaram o aumento do diâmetro médio ponderado de agregados na camada superficial.

Em relação aos indicadores físicos, Lima, Pillon e Lima (2007) afirmam que eles devem estar relacionados ao arranjo estrutural das partículas sólidas e à porosidade e refletir limitações no desenvolvimento radicular, emergência de plântulas, movimento de água no perfil e, conseqüentemente, na potencialidade produtiva. Esses fatores devem revelar alterações estruturais provocadas pela adoção de determinado sistema de manejo, assim como problemas relacionados à compactação, ao encrostamento superficial e à susceptibilidade à erosão.

Segundo Reynolds *et al.* (2002), os indicadores físicos exercem função de sustentação do solo e sua avaliação encontra-se em processo de expansão, uma vez em que é observada relação entre a melhoria da qualidade física e, conseqüentemente, melhoria na qualidade química e biológica do solo (DEXTER, 2004; ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007). Dessa forma, os principais indicadores físicos propostos atualmente são: textura; densidade do solo; porosidade total; resistência à penetração; estabilidade de agregados; capacidade de retenção de água; e condutividade hidráulica (ARAÚJO *et al.*, 2012).

A densidade do solo tem relação direta com a forma e estabilidade estrutural dos solos, sendo um atributo que reflete o arranjo das partículas do solo, definindo as características do sistema poroso (JONG VAN LIER, 2014), normalmente utilizada em pesquisas para quantificar a compactação em solos agrícolas, devido sua sensibilidade a alterações na estrutura do solo (KELLER; HAKANSSON, 2010), sendo assim, um parâmetro muito utilizado nas pesquisas sobre práticas de manejo utilizadas em áreas degradadas, com intuito de verificar se tais práticas estão contribuindo para a melhora dos solos.

2.4.1.1 Resistência Tênsil

A resistência tênsil dos agregados é definida como o estresse ou força por unidade de área requerida para fraturar os agregados do solo, quando submetidos a uma pressão (DEXTER; WATTS, 2000). É considerado um importante indicador da qualidade do solo, sendo um indicador muito sensível às mudanças estrutural do solo (BLANCO-CANQUI; LAL, 2006). De acordo com Dexter e Kroesbergen (1985), a resistência tênsil é, provavelmente, a mais útil medida de resistência individual dos agregados do solo, porque pode ser determinada por um teste simples numa ampla variação de tamanhos de agregados, consistindo num indicador muito sensível da condição estrutural do solo.

A resistência tênsil dos agregados é uma propriedade dinâmica sob condições de campo (KAY; DEXTER, 1992) e, em determinado solo, reflete os efeitos de fatores naturais e do uso e manejo na organização hierárquica dos agregados na estrutura do solo. Desse modo, durante a medida da resistência tênsil, a ruptura dos agregados ocorre nos planos de fraqueza derivada das fissuras e microfissuras que formam zonas de menor resistência dentro dos agregados (TORMENA; FIDALSKI; ROSSI JUNIOR, 2008).

Vários fatores influenciam a resistência tênsil, como ciclos de umedecimento e secamento (KAY; DEXTER, 1992), composição química e concentração da solução do solo (RAHIMI *et al.*, 2000), teor de argila e mineralogia (BARTOLI *et al.*, 1992; IMHOFF *et al.*, 2002), teor de argila dispersa (SHANMUGANATHAN; OADES, 1982) e matéria orgânica do solo (PERFECT *et al.*, 1995; IMHOFF *et al.*, 2002). Em razão disso, a resistência tênsil dos agregados é uma medida sensível aos efeitos de sistemas de uso e manejo na estrutura do solo (MUNKHOLM; SCHJØNNING, 2004; BLANCO-CANQUI *et al.*, 2005).

2.4.2 Análise morfoscópica

As observações feitas sobre os grãos permitem fazer inferência sobre o tempo de existência e a condição de transporte a qual foi submetido. Além disso, permite uma avaliação visual do grão com intuito de saber se existem locais favoráveis a deposição de argila e outros compostos.

A análise morfooscópica é um método que se refere ao estudo das propriedades (esfericidade e arredondamento) e a textura superficial (brilho e fosqueamento) das partículas sedimentares (BARROS *et al.*, 2007).

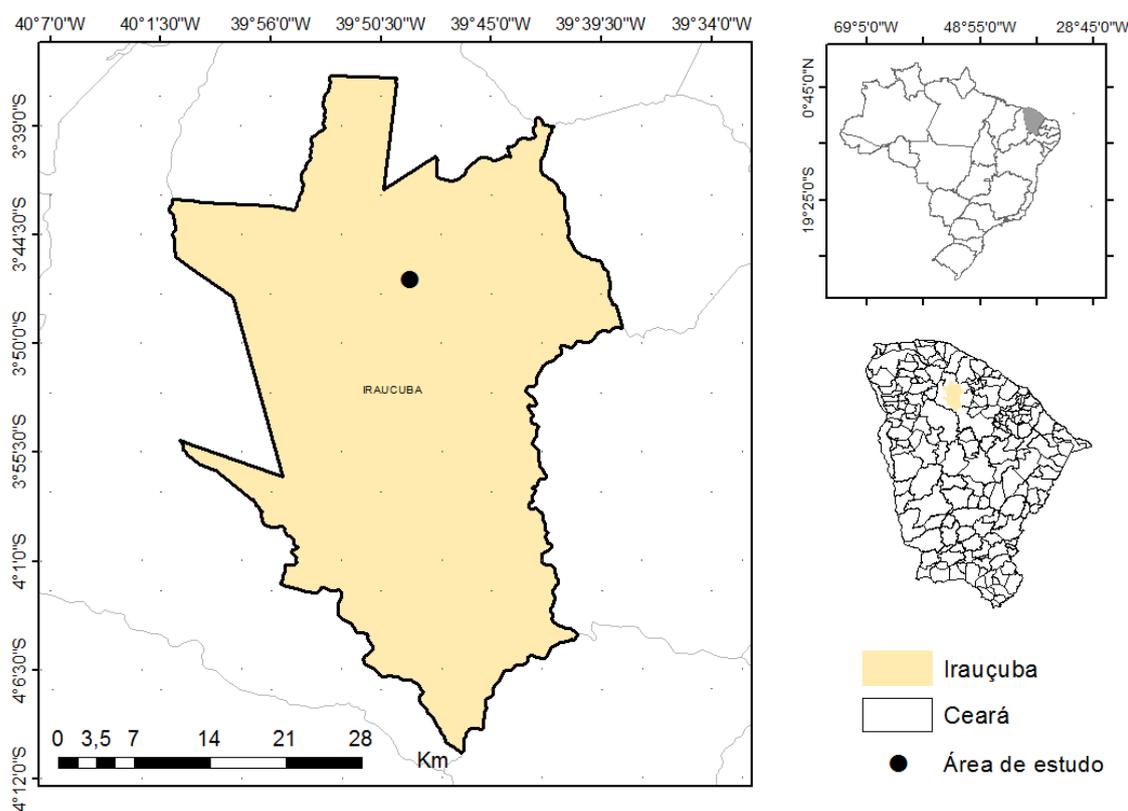
A esfericidade está relacionada com o transporte e deposição das partículas, e depende de vários fatores como a conformação inicial das partículas, a fragilidade e a resistência à abrasão, e dos agentes de transporte a que o sedimento foi sujeito (BEZERRA, 2009). O grau de arredondamento reflete a distância e o rigor do transporte das partículas (SUGUIO, 1973).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização das áreas de estudo

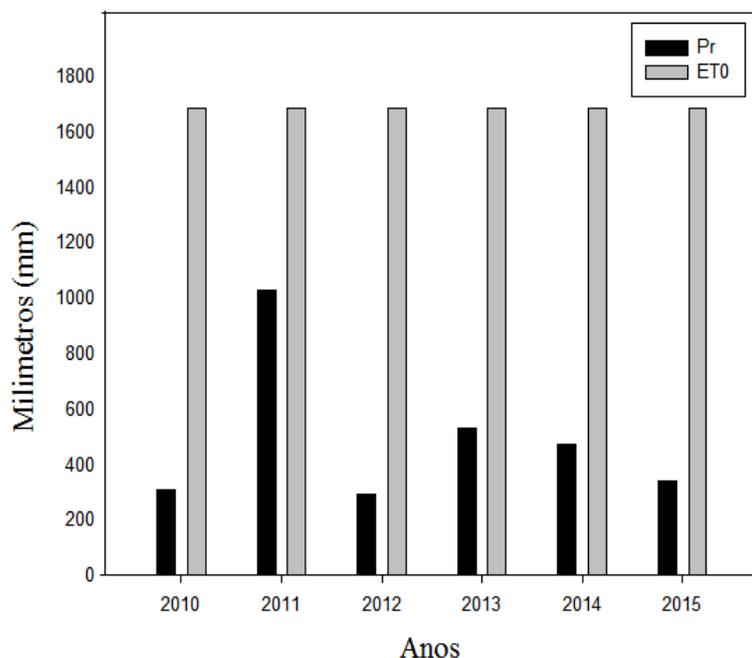
O estudo foi realizado no município de Irauçuba, localizado no sertão centro-norte do Estado do Ceará e na microrregião de Sobral, nas coordenadas geográficas 3°44'46''S e 39°47'00'' W Gr (Figura 3). O município de Irauçuba possui uma área de 1.461,22 km², com pluviosidade média anual de 539,5 mm, com período chuvoso de janeiro a abril (IPECE, 2012) e com evapotranspiração de referência média anual (ET₀) de 1685 mm. Com base nos registros dos anos de 2010 a 2015 (Figura 4), os últimos quatro anos foram anos de seca com uma precipitação abaixo da média anual, causando um elevado déficit hídrico. O clima da região é tropical quente semiárido, com temperatura média entre 26° e 28°C. A região está inserida em depressões sertaneja e maciços residuais, com solos classificados em Planossolos, Neossolos Litólicos, Argissolos e Luvisolos. A vegetação é do tipo caatinga arbustiva densa (IPECE, 2012).

Figura 3. Localização do município de Irauçuba, Ceará.



Fonte: Araújo (2016).

Figura 4. Dados de precipitação pluvial média anual (Pr) e evapotranspiração de referência média anual (ET₀) de Irauçuba-CE.



Fonte dos dados: FUNCEME (2016).

Em relação ao bioma, a caatinga é predominante nesse município (LANDIM; SILVA; ALMEIDA, 2011), sendo formada por uma vegetação arbustiva, na qual a maioria das árvores perde suas folhas nos períodos de estiagem, deixando de proteger o solo dos raios solares, vento e do impacto da chuva, determinando, assim, uma menor proteção ao solo e favorecendo os processos de erosão.

A principal atividade econômica desenvolvida na região é a pecuária extensiva em condições de superpastejo. Em seguida, vem o desenvolvimento de culturas anuais como forma de subsistência e sem considerar as limitações do ambiente, devido ao baixo conhecimento tecnológico de manejo agrícola (SOUSA, 2009). Na ocupação da área municipal de Irauçuba, 12,4% são usados para a produção agrícola, a pecuária ocupa 67,1% e os restantes 20,5% são recobertos de matas. O efetivo de ovino e caprino é de 22.206 e 3.895 respectivamente e de bovinos 23.101. Transformando a quantidade de caprinos e ovinos em equivalentes bovinos, (dividindo-se o número total de pequenos ruminantes por seis) e somando-se à população permanente de bovinos (23.101), totaliza-se 27.450 cabeças. Considerando-se a área total de Irauçuba de 146.100ha, os 67,1% utilizados pela pecuária

equivaleriam a cerca de 98.000ha. Dividindo-se pelo número de bovinos, tem-se uma carga animal de 0,28 bov/ha, ou seja, 42% acima da capacidade de suporte calculada (OLIVEIRA; SALES, 2015).

O município de Irauçuba-CE foi o primeiro do país a ter seu Plano de Ação Municipal de Combate à Desertificação, apresentado em Junho de 2009. É considerado um dos locais mais degradados do estado do Ceará, caracterizando-se como um núcleo de desertificação. Nessa caracterização foram evidenciados diversos fatores indicativos, como degradação desordenada da vegetação nativa, pastoreio excessivo, empobrecimento da biodiversidade, comprometimento da produtividade do solo, erosão da camada superficial do solo, dentre outros (PAM/IRAUCUBA, 2009).

Este estudo foi desenvolvido no contexto do projeto intitulado “Estudos dos processos de Degradação/Desertificação e suas relações com o uso da terra em Sistemas de Produção no Semiárido cearense, em uma região identificada como um dos núcleos de Degradação/Desertificação do semiárido brasileiro”. No projeto de pesquisa mencionado foram estabelecidas seis áreas experimentais no primeiro semestre do ano 2000 (Tabela 1 e Figura 5), sendo que a área seis sofreu uma queimada em 2013 e foi desativada.

Tabela 1. Uso, localização e tipo de vegetação das áreas experimentais em Irauçuba – CE.

Área	Tempo de Uso	Sistema de Produção	Localização	Coordenadas	Vegetação Potencial
1	+ 30 anos	Pecuária extensiva (sobrepastejo)	Fazenda Aroeira	03°47'22"S 39°47'53"W	Caatinga arbustiva-arbórea
2	+ 30 anos	Pecuária extensiva (sobrepastejo)	Fazenda Aroeira	03°47'32"S 39°47'53"W	Caatinga arbustiva-arbórea
3	+ 30 anos	Pecuária extensiva (sobrepastejo)	Fazenda Formigueiro	03°46'50"S 39°49'03"W	Caatinga arbustiva-arbórea
4	+ 30 anos	Pecuária extensiva (sobrepastejo)	Fazenda Cacimba Salgada	03°46'39"S 39°49'49"W	Caatinga arbustiva-arbórea
5	+ 30 anos	Pecuária extensiva (sobrepastejo)	Fazenda Cacimba Salgada	03°46'15"S 39°49'51"W	Caatinga arbustiva-arbórea

Fonte: Sousa (2009)

Figura 5 – Imagem de satélite das áreas experimentais, localizada no município de Irauçuba, CE.



Fonte: Ferreira, M., (2015)
A1; A2; A3; A4 e A5: áreas de pousio.

Em cada área experimental foram estabelecidos dois manejos como tratamentos a serem avaliados: pousio e superpastejo. O manejo de pousio foi implantado em cada experimento em áreas de 0,25 hectares que foram denominadas “áreas de exclusão” e que estavam em avançado processo de desertificação. As áreas foram cercadas com nove fios de arame farpado e estaqueadas a cada metro para evitar a entrada de animais e o seu uso agrícola. Assim, tornou-se possível estudar os efeitos dos processos naturais de regeneração em áreas isoladas da exploração agropecuária. As áreas não cercadas ao lado das áreas de pousio, medindo 50 m x 50 m, foram selecionadas como áreas de superpastejo, pois permanecem em condições de superpastejo animal (OLIVEIRA; SALES, 2015).

Para o presente estudo, as avaliações foram feitas na área experimental 3 (Figura 6) que apresentou uma área de pousio (Figura 6c) e uma área adjacente de superpastejo em processo de desertificação (Figura 6b). O solo das áreas avaliadas foi classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) como Planossolo Nátrico órtico vertissólico (SOUSA, 2009).

Na área de superpastejo foi observada pouca ou nenhuma vegetação natural, presença de cactos, como mandacaru e xiquexique e presença de erosão laminar severa. Em relação à flora na área de pousio, foi verificada que a mesma é composta principalmente por Bamburral (*Hyptis suaveolens* Poit), Capim barba de bode (*Cyperus compressus*) e Jurema Preta (*Mimosa hostilis*).

Figura 6. Áreas de estudo localizadas no município de Irauçuba, CE.



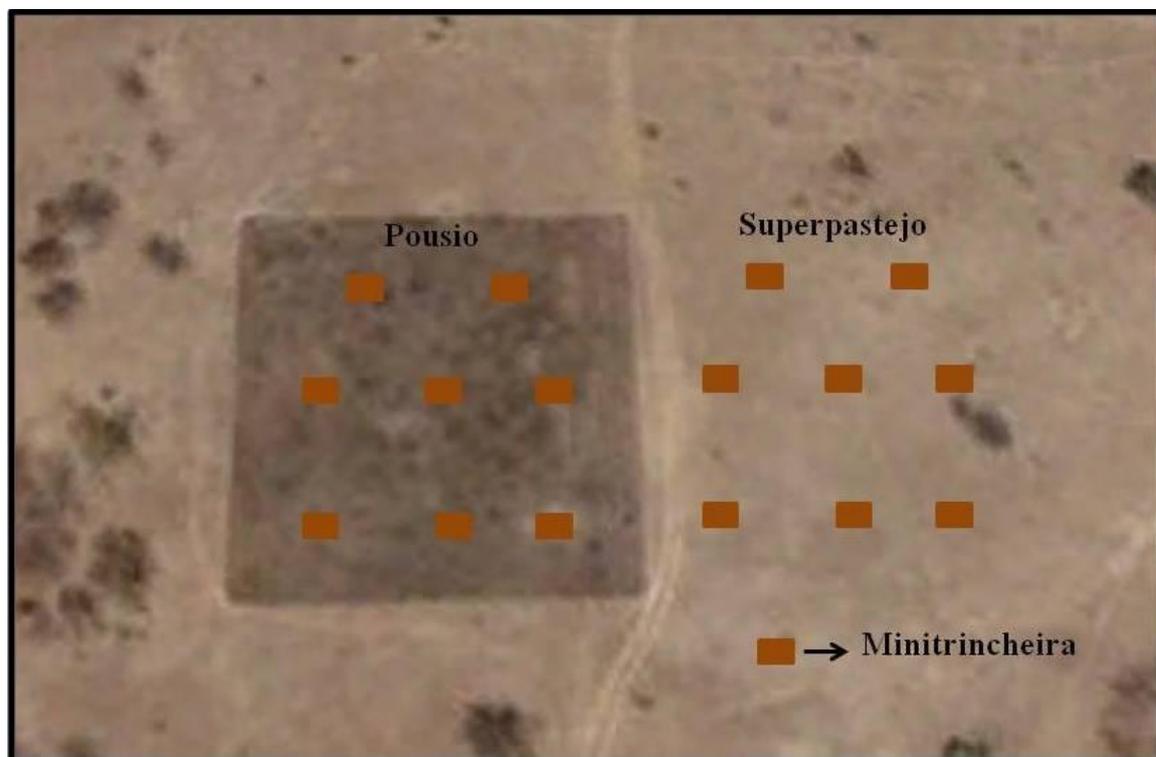
Fonte: Autora

Área experimental 3 (a), área de superpastejo (b) e área de pousio (c).

3.2 Amostragem

A amostragem do solo foi realizada no primeiro semestre de 2015, no mês de abril. Foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada das duas áreas - pousio com exclusão de animais domésticos por um período de 15 anos e área degradada pelo superpastejo. Em cada uma das áreas foram abertas oito minitrincheiras que foram consideradas como repetições (Figura 7). As amostras foram coletadas nas profundidades de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 m, resultando em 48 amostras no total (dois tratamentos x três profundidades X oito repetições). Não foi possível a coleta de amostras com estrutura preservada devido às condições do solo da área, o qual apresentava pedregosidade que impossibilitou a entrada do amostrador tipo Uhland e, conseqüentemente, a retirada de amostras nos anéis volumétricos. Amostras de agregados de cada profundidade foram separadas para fins de análise de estabilidade de agregados.

Figura 7. Imagem de satélite das áreas de estudo com o esquema de localização das minitrincheiras representando as repetições no município de Irauçuba, CE.



Fonte: Google Earth.

As amostras de solo foram coletadas em sacos plásticos, identificadas, colocadas para secar ao ar e, em seguida, foram separados os agregados. Posteriormente, as amostras foram destorroadas e peneiradas em tamis de malha com abertura de 2,0 mm de diâmetro, a fim de se obter terra fina seca ao ar (TFSA).

3.3 Atributos analisados

3.3.1 Análises físicas com amostras de solo de estrutura deformada

A granulometria foi determinada pelo método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986), com dispersão de 20 g de TFSA com hidróxido de sódio 1 mol L^{-1} . As areias foram separadas em peneira de malha 0,053 mm de diâmetro e fracionadas segundo a classificação granulométrica do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). O silte e a argila foram separados por sedimentação, conforme a Lei de Stokes. A determinação da argila dispersa em água foi idêntica à granulometria, contudo sem a utilização do agente químico dispersante. O grau de floculação foi obtido pela relação entre a argila total e a argila dispersa em água (EMBRAPA, 1997), de acordo com a equação (1):

$$GF = \left(\frac{\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}}{\text{argila total}} \right) \times 100 . \quad (1)$$

As areias foram fracionadas em dois tamanhos, areia fina (0,02-0,2 mm) e grossa (0,2-2 mm) (AMARO FILHO; ASSIS JUNIOR; MOTA, 2008). Após o fracionamento foi realizada a análise morfoscópica mediante a seleção de 100 grãos de areia e observação em lupa binocular pela metodologia proposta por Barros *et al.* (2007).

A densidade do solo foi determinada pelo método da proveta e a densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). A porosidade total foi determinada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partícula (EMBRAPA, 1997), conforme equação (2):

$$\alpha = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p} \right), \quad (2)$$

sendo α a porosidade total ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), ρ_s e ρ_p a densidade do solo e de partículas, em g cm^{-3} , respectivamente.

3.3.2 Análises físicas com amostras de solo de estrutura indeformada

A estabilidade de agregados foi determinada pelo método do peneiramento úmido (KEMPER; ROSENAU, 1986). As amostras de agregados do solo foram agitadas em oscilador elétrico vertical, composto por dois conjuntos de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5 e 0,25 mm de abertura. Com o objetivo de estimar o diâmetro médio ponderado (DMP), o teor de agregados em cada peneira foi expresso em cinco classes de diâmetro (4,76-2,00 mm; 2,00-1,00 mm; 1,00-0,50 mm e 0,50-0,25 mm), pela equação (3):

$$\% \text{ agregados estáveis por classe} = [(M_a - M_p) / (M_s - M_w - \sum M_p)] * 100 , \quad (3)$$

sendo M_a a massa dos agregados aparentes na classe, M_p a massa das partículas primárias na classe, M_s a massa da amostra original antes da tamisagem e M_w a massa de água na amostra original.

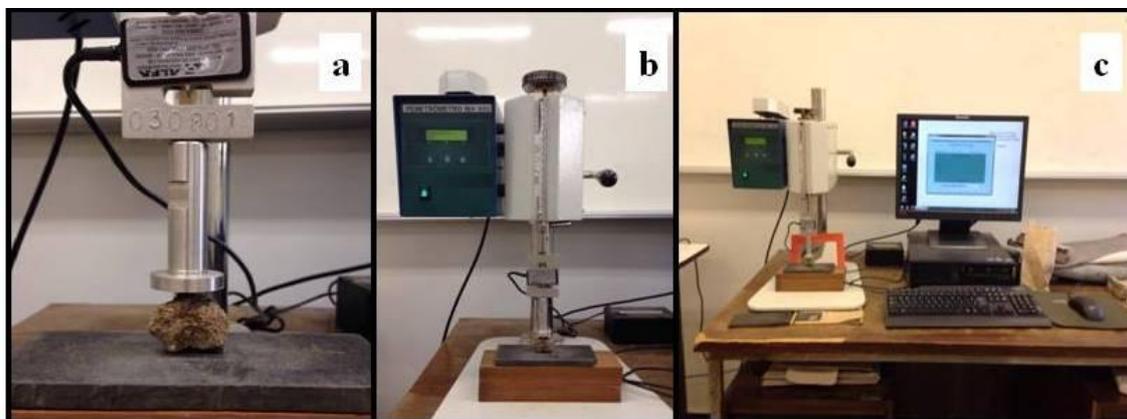
O diâmetro médio ponderado, introduzido por Van Bavel (1949), foi calculado considerando a proporção em massa W_i de um determinado tamanho de fração multiplicada pelo diâmetro médio X_i dessa fração. Calculado conforme a equação (4):

$$MWD = \sum_{i=1}^N X_i \cdot W_i \quad (4)$$

Foi analisada a resistência tênsil dos agregados. Para isso foram separados agregados de solo que tivessem o formato e tamanho mais parecidos possíveis, os quais foram passados em peneira com malha com abertura de 25,4 mm e retidos na peneira com malha de 19 mm de abertura para uma uniformidade nas dimensões. Os agregados foram armazenados em sacos de papel devidamente identificados. Os agregados foram secos em estufa a 40 °C por 48 h e, logo após, deixados à temperatura de 23°C por aproximadamente 4 h para atingir o equilíbrio, e posteriormente foi medida a resistência tênsil (IMHOFF *et al.*, 2002).

Para as medidas de resistência tênsil foram utilizados 144 agregados (duas áreas x três profundidades x quatro repetições x seis agregados de cada repetição). Cada agregado foi pesado em balança analítica e, em seguida, submetido a um teste de tensão indireta em atuador eletrônico linear que emprega velocidade constante de 0,03 mm s⁻¹ (IMHOFF *et al.*, 2002). Para o teste de tensão indireta, cada um dos agregados de solo foi colocado em posição mais estável entre duas placas metálicas: uma inferior fixa e outra superior móvel ligada a uma célula de carga com capacidade de 20 kgf (Figura 8). A célula de carga é acoplada à extremidade inferior do êmbolo do atuador eletrônico linear e a um microcomputador (Figura 8c), que registra o valor da força aplicada para ruptura tênsil de cada agregado.

Figura 8. Detalhe do agregado de solo colocado em posição mais estável entre duas placas metálicas (a) e (b); A célula de carga acoplada à extremidade inferior do êmbolo do atuador eletrônico linear e a um microcomputador (c).



Fonte: Autora

No final de cada teste, uma subamostra de agregados foi pesada em balança analítica e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h, para determinação da umidade residual da amostra de solo.

A resistência tênsil foi calculada conforme descrito por Dexter e Kroesbergen (1985), calculado conforme a equação 5:

$$RT = 0,576 (P/D^2) \quad (5)$$

em que RT é a resistência tênsil; 0,576, o coeficiente de proporcionalidade, resultante da relação entre a carga compressiva aplicada e o estresse tênsil gerado no interior do agregado; P, a força necessária para a quebra tênsil do agregado (N); e D, o diâmetro efetivo (m). O diâmetro efetivo (D) foi calculado conforme Dexter e Kroesbergen (1985), como mostra a equação 6:

$$D = D_m (M/M_0)^{1/3} \quad (6)$$

em que M é a massa do agregado individual (g); M₀, a massa média dos agregados em cada tratamento (g); e D_m, o diâmetro médio dos agregados (mm), definido pela média dos tamanhos das peneiras [(25,4 + 19,0)/ 2 = 22,2 mm]. Usualmente, a medida da resistência tênsil dos agregados de solo é representada em kPa.

3.3.3 Análise física efetuada no campo

A velocidade de infiltração 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.

3.3.4 Análises químicas

A reação do solo (pH) foi determinada em água e cloreto de potássio (KCl 1 M). Para esta determinação foi utilizada uma relação solo: líquido na proporção de 1: 2,5. A determinação foi realizada com potenciômetro com eletrodo combinado, conforme EMBRAPA (1997).

Os cátions cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) trocáveis foram extraídos por cloreto de potássio (KCl 1 M) e determinados por absorção atômica. O potássio (K^+) e o sódio (Na^+) trocáveis foram extraídos com solução de Mehlich 1 e determinados por espectrofotômetro de chama (EMBRAPA, 1997)

O carbono orgânico foi determinado pelo método da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio ácido e uma fonte externa de calor para garantir a oxidação completa do carbono. A titulação foi feita com sulfato ferroso amoniacal, usando como indicador o ferroin (YEOMANS; BREMNER, 1988).

3.3.5 Análises estatísticas

Os dados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, sendo consideradas como tratamentos nas parcelas duas áreas (pousio e superpastejo) e nas subparcelas três profundidades (0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 m) com oito repetições para a maioria das análises, com exceção da resistência tênsil e velocidade de infiltração. Foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk a 5% para verificar a normalidade dos dados, os quais apresentaram distribuição normal. As análises estatísticas dos dados foram feitas no programa ASSISTAT, versão 7.7 beta (SILVA, 2013), no qual os resultados foram submetidos à análise de variância. Foi aplicado o teste de Tukey a 1 e 5% de significância para comparação de médias. Para a geração dos gráficos usou-se o programa SIGMA PLOT 11.0.

Também foram empregadas técnicas multivariadas de análise de componentes principais (ACP) para o entendimento de como os atributos interagiram utilizando o software XLSTAT, versão gratuita (XLSTAT, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises físicas

4.1.1 Textura do solo, argila dispersa em água e grau de flocculação.

A textura é apresentada na Tabela 2, em que se observa que não houve diferença na classe textural do solo das duas áreas analisadas, a qual foi classificada, conforme Embrapa (2006), como franco-arenosa na profundidade de 0,0-0,1 m e franco-argilo-arenosa nas demais profundidades. Já era esperado que não ocorresse diferença textural entre as duas áreas, pois a classe textural de um solo é um atributo bastante estável.

Tabela 2. Valores médios de argila, silte e areia nas duas áreas analisadas (pousio e superpastejo).

Áreas	Profundidade (m)	Textura					Classe textural
		Areia			Silte	Argila	
		AG	AF	Total			-----g kg ⁻¹ -----
Pousio	0,0-0,1	582	219	801	88	103	Franco- arenosa
	0,1-0,2	479	136	615	161	223	Franco-argilo-arenosa
	0,2-0,3	453	131	584	184	232	Franco-argilo-arenosa
Superpastejo	0,0-0,1	661	114	775	123	112	Franco- arenosa
	0,1-0,2	472	123	595	159	246	Franco-argilo-arenosa
	0,2-0,3	384	133	517	187	296	Franco-argilo-arenosa

AG: areia grossa; AF: areia

A classe textural é um atributo importante do solo que varia pouco ao longo do tempo. Muitas vezes a mudança só ocorre se houver mudança da composição do solo devido a processos de intemperismo que ocorrem em escala de séculos a milênios (REINERT; REICHERT, 2006). Variações na textura também podem ocorrer em função do uso e manejo do solo. A erosão do solo é a causa principal para mudanças na composição da partícula do solo (HE *et al.*, 2004), sendo influenciada pelo superpastejo de animais, que contribui para a perda do solo na parte superior pela erosão.

Observam-se valores mais elevados da fração areia em ambas as áreas em todas as profundidades, sendo encontrados valores maiores na camada de 0,0-0,1 m, mostrando assim que essa fração é mais resistente aos processos erosivos e às práticas de uso do solo. No entanto, esse gradiente textural é uma característica dos Planossolos em que se observam horizontes superficiais de textura mais arenosa. Verificam-se maiores valores de areia fina na

área de pousio em todas as profundidades, essa maior proporção indica menores diâmetros de poros nessa área aumentando assim a disponibilidade de água na mesma.

O prevalecimento da fração grosseira mostra que este fato está diretamente ligado com as práticas de uso do solo e com os processos erosivos, além disso, os fatores de formação do solo, contribuem para que isso aconteça.

O comportamento das partículas do solo, em distribuição por tamanho, indicou que os efeitos da desertificação facilitaram a remoção de partículas de silte e argila, tendo por resultado, uma textura mais grosseira do solo, resultados semelhantes foram observados por Huang, Wang e Wu (2007) e Pei, Fu e Wan (2008). O silte e a argila apresentaram o mesmo comportamento entre os tratamentos em todas as profundidades, com um pequeno aumento com a profundidade.

De modo geral, observa-se que o período de pousio avaliado neste estudo não provocou efeito sobre as partículas primárias do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Mekuria *et al.* (2007) em áreas com 5 e 10 anos de pousio, no semiárido da Etiópia, em que a granulometria não diferiu entre duas áreas com o tempo de adoção do pousio.

Estudos no semiárido da China mostraram que, na textura, o percentual de areia aumentou e houve diminuição de silte e argila na camada superficial na área de superpastejo, o que contribuiu para um aumento da densidade do solo em relação à área de exclusão (SU *et al.*, 2004; YONG-ZHONG *et al.*, 2005; PEI; FU; WAN, 2008).

A análise de variância apresentada na Tabela 3 revelou efeito significativo isolado do fator “áreas” sobre os valores de ADA (argila dispersa em água). Para o fator isolado “profundidades” foram verificados efeito significativo para as variáveis ADA e GF (grau de floculação). Para ambos os atributos não foi observado interação significativa entre áreas e profundidades.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para atributos físicos do solo de argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF).

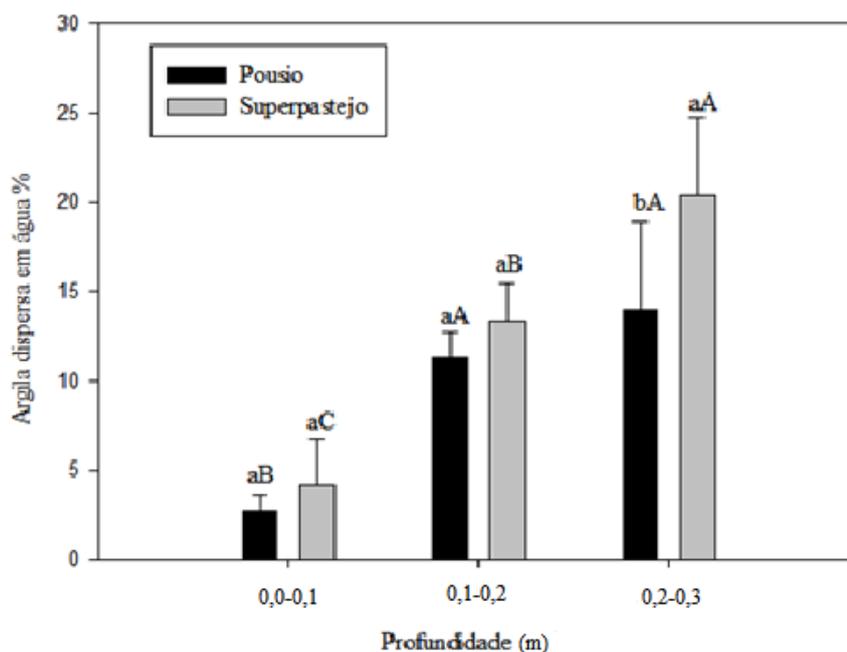
Fonte de variação	ADA		GF	
	F	CV(%)	F	CV(%)
Áreas (A)	10,10**	31,73	3,57 ^{ns}	20,22
Profundidades (B)	80,39**	28,26	27,41**	23,62
Interação A x B	2,98 ^{ns}		0,43 ^{ns}	

^{ns} Não significativo. ** e * significativo a 1% e 5% de significância, respectivamente.

Dentre as análises que permitem avaliar as condições estruturais do solo, destaca-se a ADA (IGWE *et al.*, 2006; TAVARES FILHO *et al.*, 2010). A determinação da ADA auxilia na previsão dos riscos associados à erosão hídrica (LIMA *et al.*, 1990; CALERO *et al.*, 2008). Esta análise é importante para solos de regiões semiáridas, especialmente os que apresentam excesso de sódio trocável (PANAYIOTOPOULOS *et al.*, 2004).

A ADA variou de 3% a 14% nas profundidades da área de pousio e de 4% a 21% na área de superpastejo (Figura 9). Não ocorreu diferença estatística significativa entre as áreas, com exceção na profundidade de 0,2-0,3 m onde houve diferença significativa, sendo observado valor maior na área de superpastejo.

Figura 9. Argila dispersa em água (ADA) nas áreas de pousio e superpastejo.



Fonte: Autora

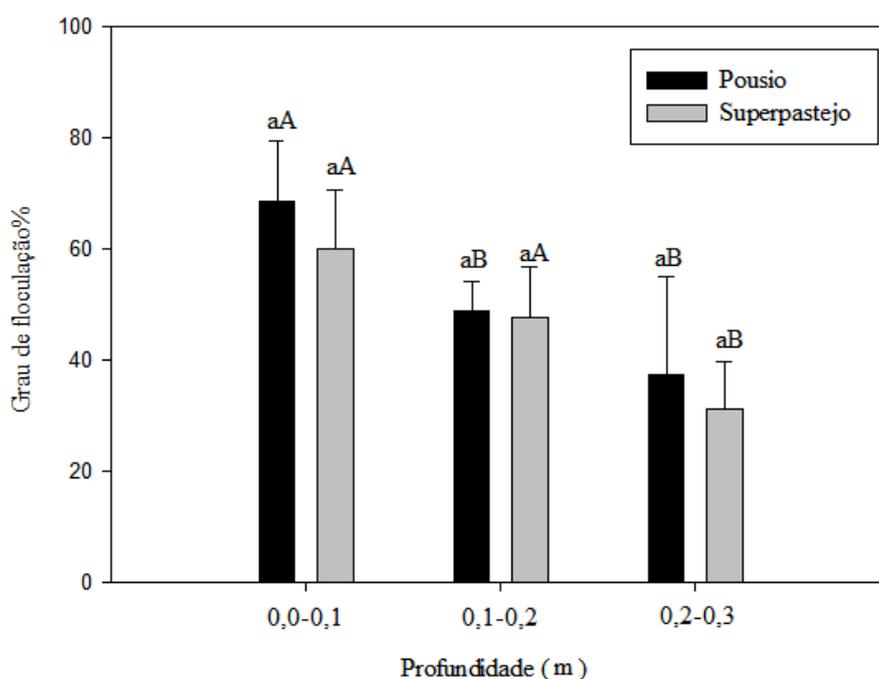
Média seguida pela mesma letra minúscula (áreas) e mesma letra maiúscula (profundidades), não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

De modo geral, observa-se que ocorreu aumento em profundidade da ADA em ambas as áreas, sendo encontrados valores maiores no tratamento de superpastejo em todas as profundidades. Esse aumento da ADA no tratamento de superpastejo está relacionado ao efeito dos íons Na^+ , presentes em maior quantidade nessa área, conforme será apresentado no item 4.2.2, referente aos atributos químicos (Tabela 14). Isso ocorre devido ao maior raio iônico do íon sódio quando hidratado, aumentando a espessura da dupla camada difusa na

superfície das argilas, reduzindo as forças de atração entre elas, conseqüentemente aumentando a dispersão das partículas (SPOSITO, 1989). Segundo Meurer (2006), cátions com alto grau de hidratação formam complexos de esfera externa e aumentam a distância entre as partículas, causando a dispersão das mesmas.

No que se refere ao GF (Figura 10), o mesmo variou entre 37% a 69% na área de pousio e 31% a 60% na área de superpastejo. Esses baixos valores de GF nos solos se devem à natureza mineral dos Planossolos, cuja mineralogia predominante é esmectítica/micácea (2:1) (FERREIRA, J., 2015) e, principalmente, com teores mais elevados de sódio no complexo de troca (CORRÊA *et al.*, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2003). Tal dispersão contribui para a redução da macroporosidade e aumento na densidade do solo.

Figura 10. Grau de flocculação nas áreas de pousio e superpastejo.



Fonte: Autora

Média seguida pela mesma letra minúscula (áreas) e mesma letra maiúscula (profundidades), não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Verifica-se que não houve diferença estatística significativa para o GF entre as áreas em todas as profundidades. Mesmo sem diferença significativa, observa-se uma tendência de maior GF na área de pousio, corroborando com o menor valor de ADA também observado nessa área.

Sousa (2009) observou, nas mesmas áreas avaliadas neste estudo, valores do GF variando entre 60 a 77%, não diferindo estatisticamente em relação à prática de uso do solo, mas com valores maiores nas áreas de pousio. Comparando os resultados de Sousa (2009), obtidos com sete anos de pousio, com os resultados deste estudo, com 15 anos de pousio, observa-se que os valores do GF diminuíram com o tempo nos dois manejos, sendo um indício de que a degradação continua ocorrendo.

De modo geral, houve decréscimo do GF com a profundidade, talvez por fazer parte do horizonte B plânico, evidenciando mais uma vez o efeito dos argilominerais 2:1 no aumento das cargas negativas do meio, promovendo, assim, a dispersão (CORRÊA *et al.*, 2003).

4.1.2 Densidade de partículas, densidade do solo, porosidade e velocidade de infiltração.

No que se refere aos atributos da Tabela 4, a análise de variância revelou efeitos significativos do fator isolado “profundidades” para todos os atributos, densidade de partículas (DP), densidade do solo (DS) e porosidade total (PT). Foram observadas interações entre áreas e profundidades significativas para os atributos DS e PT.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para atributos físicos do solo: densidade de partículas (DP), densidade do solo (DS) e porosidade total (PT).

Fonte de variação	DP		DS		PT	
	F	CV(%)	F	CV(%)	F	CV(%)
Áreas (A)	0,01 ^{ns}	2,84	2,75 ^{ns}	2,9	0,86 ^{ns}	6,86
Profundidades (B)	3,99 [*]	2,86	87,72 ^{**}	3,41	24,76 ^{**}	8,03
Interação A x B	2,60 ^{ns}		9,37 ^{**}		8,48 ^{**}	

^{ns} Não significativo. ^{**} e ^{*} significativo a 1% e 5% de significância, respectivamente.

A análise estatística para os dados de densidade de partículas (Tabela 5) não revelou diferença significativa entre as áreas em todas as profundidades. Isso se deve ao fato de que a densidade de partículas é um atributo com pouca variação no espaço e no tempo e, além disso, depende da natureza mineralógica do solo em estudo (RÜHLMANN; KÖRSCHENS; GRAEFE, 2006).

Tabela 5. Valores médios de densidade de partículas do solo nas duas áreas analisadas (pousio e superpastejo).

Áreas	Profundidade (m)			Média
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	
	Densidade de partículas (g cm⁻³)			
Pousio	2,53 aA (± 0,08)	2,49 aAB (± 0,02)	2,42 aB (± 0,11)	2,48 a
Superpastejo	2,51 aA (± 0,09)	2,45 aA (± 0,05)	2,48 aA (± 0,03)	2,48 a

Média seguida pela mesma letra minúscula na coluna (áreas), e mesma letra maiúscula na linha (profundidades), não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Números entre parênteses: desvio padrão.

Os valores de densidade de partículas variam, em média, entre os limites de 2,3 e 2,9 g cm⁻³ (LIBARDI, 2005). Como valor médio, para efeito de cálculos, pode-se considerar a densidade de partículas como sendo de 2,65 g cm⁻³. Esse valor médio deve-se, principalmente, ao quartzo, que é um componente frequente na maioria dos solos tropicais e que possui densidade específica variando em torno de 2,65 a 2,66 g cm⁻³ (SKOOP, 2002). Geralmente espera-se que a densidade das partículas oscile em torno desses valores.

Os valores encontrados neste estudo variaram de 2,49 a 2,53 g cm⁻³ na área de pousio e de 2,45 a 2,51 g cm⁻³ na área de superpastejo (Tabela 5). Verifica-se que a densidade de partículas está abaixo da faixa limite mencionada no parágrafo anterior. Dessa forma, pode-se dizer que existem partículas nos solos em estudo menos densas que o mineral quartzo, que estão contribuindo para a diminuição do valor de densidade de partículas para abaixo de 2,65 g cm⁻³. Fato que pode ser justificado pela presença de filossilicatos, tais como as micas identificadas nas frações areia, silte e argila destas áreas (FERREIRA, J., 2015).

No que se refere à densidade do solo, não houve diferença significativa entre as médias de ambas às áreas, indicando que o manejo de pousio não afetou esse parâmetro do solo (Tabela 6). De modo geral, foram observados valores que variaram de 1,39 a 1,66 g cm⁻³ para as duas áreas. Tal resultado corrobora com o encontrado por Sousa (2009) que encontrou valores de densidade do solo que não diferiram estatisticamente entre as áreas em pousio e superpastejo. Entretanto, em trabalho utilizando amostras indeformadas, foram encontradas menores DS em algumas dessas áreas (FERREIRA, M., 2015).

Tabela 6. Valores médios de densidade do solo nas duas áreas analisadas (pousio e superpastejo).

Áreas	Profundidade (m)			Média
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	
Densidade do solo (g cm⁻³)				
Pousio	1,61 aA (± 0,04)	1,39 bC (± 0,03)	1,46 aB (± 0,09)	1,48 a
Superpastejo	1,66 aA (± 0,06)	1,47 aB (± 0,05)	1,39 bC (± 0,02)	1,50 a

Média seguida pela mesma letra minúscula na coluna (áreas), e mesma letra maiúscula na linha (profundidades), não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Números entre parênteses: desvio padrão.

Foi verificada diferença entre áreas nas profundidades de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m e apesar de não ter ocorrido diferença estatística na profundidade de 0,0-0,1 m, observa-se maiores valores na área de superpastejo nessa profundidade. Esse resultado está diretamente relacionado à maior dispersão das argilas nessa área, em que tal dispersão contribui para a redução da macroporosidade e aumento na densidade do solo.

Reinert, Reichert e Silva (2001) propuseram valores críticos de densidade do solo em relação ao teor de argila, sendo de 1,45 g cm⁻³ para solos com mais de 55% de argila, 1,55 g cm⁻³ para solos com teor de argila entre 20 e 55% e 1,65 g cm⁻³ para solos com menos de 20% de argila. Com base nessa relação, verificou-se que a camada de 0,0-0,1 m da área de superpastejo se enquadra na faixa de teor de argila menor que 20% (Tabela 2), com densidade crítica de 1,66 g cm⁻³. As demais densidades, nas mesmas áreas e profundidades, não se encontram com valores considerados críticos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Mekuria *et al.* (2007), comparando áreas de pousio de cinco e dez anos de exclusão com áreas de superpastejo em região semiárida. Do mesmo modo, os autores observaram que os valores de densidade do solo não diferiram significativamente com o tempo de adoção do pousio, enquanto que em outros estudos a eficiência do pousio na melhoria da densidade do solo foi observada (PEI; FU; WAN, 2008; SU *et al.*, 2004).

Sousa (2009) observou que o período de sete anos de pousio não apresentou melhoria na densidade do solo nas áreas de pousio quando comparadas as áreas de superpastejo. Ferreira, M., (2015) avaliando as mesmas áreas e comparando os resultados desse autor com seu trabalho, constatou que a densidade do solo aumentou nos dois manejos com o tempo.

As densidades altas, em ambos os solos analisados, estão relacionadas ao pisoteio dos animais que causam compactação do solo e, com isso, aumentam sua densidade. Quando

o solo sofre compactação, a densidade é afetada, ocasionando aumento em seus valores e, conseqüentemente, promovendo redução na porosidade total do solo (KELLER; HAKANSSON, 2010).

Em relação à porosidade, de maneira geral, observaram-se baixos valores de porosidade total nas duas áreas (Tabela 7). Esses valores estão inversamente relacionados com a densidade do solo, ou seja, a porosidade total do solo aumenta na medida em que a densidade do solo diminui (KIEHL, 1979). Segundo Camargo e Alleoni (1997), a compactação do solo é um dos resultados da redução da porosidade e uma das principais causas da degradação do solo, ocorrendo frequentemente em locais onde o pisoteio de animais é intenso.

Tabela 7. Valores médios de porosidade total nas duas áreas analisadas (pousio e superpastejo).

Áreas	Profundidade (m)			Média
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	
	Porosidade total (cm³ cm⁻³)			
Pousio	0,36 aB (± 0,02)	0,44 aA (± 0,01)	0,39 bB (± 0,06)	0,40 a
Superpastejo	0,33 aC (± 0,04)	0,40 bB (± 0,02)	0,44 aA (± 0,01)	0,39 a

Média seguida pela mesma letra minúscula na coluna (áreas), e mesma letra maiúscula na linha (profundidades), não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Números entre parênteses: desvio padrão.

A recuperação desses solos com alta densidade e baixa porosidade em ambientes áridos e semiáridos ocorre ao longo de décadas e são influenciados pela precipitação (VALONE *et al.*, 2002).

Os resultados de porosidade total são reflexos dos valores de densidade do solo e, nesses valores, não houve diferença estatística no que se refere às duas áreas avaliadas (Tabela 7). Esse fato ratifica o comportamento encontrado por Sousa (2009) e Mekuria *et al.* (2007). Verifica-se diferença entre as áreas nas profundidades de 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m.

No pousio, apesar dos valores elevados de densidade e baixos valores de porosidade que refletem a compactação do solo, verifica-se a presença de vegetação. Isso ocorre justamente porque os animais deixaram de ter acesso à área de pousio, favorecendo o desenvolvimento de plantas, mesmo mediante condições de compactação do solo. Segundo Rosolem *et al.* (2002), há espécies de plantas que apesar da compactação do solo, conseguem

desenvolver raízes em função de características intrínsecas de cada espécie. Entretanto, esse desenvolvimento vegetal não ocorreu na área de superpastejo devido ao fato dos animais continuarem tendo acesso para pastejar na mesma.

Outros estudos comprovam a melhoria da porosidade do solo em resposta ao pousio. Huang *et al.* (2007), investigando a dinâmica das propriedades físicas e químicas durante o processo de desertificação em um solo sob o superpastejo de ovinos na China, verificaram redução na densidade do solo em área de exclusão de animais e aumento na porosidade total.

No tocante à velocidade de infiltração básica de água no solo, não foi observada diferença estatística entre as áreas (Tabela 8). Mesmo sem a ocorrência de diferença significativa, observa-se maior velocidade de infiltração na área de pousio. Esses resultados corroboram com os valores encontrados de densidade do solo que, apesar da não significância, foram menores na área de pousio.

Tabela 8. Valores médios de velocidade de infiltração nas duas áreas analisadas (pousio e superpastejo).

Áreas	VIB (mm h ⁻¹)
Pousio	1,65 a
Superpastejo	1,05 a

Média seguida pela mesma letra minúscula na coluna (áreas), não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

VI: velocidade de infiltração.

A infiltração de água é diretamente influenciada pelo aumento da cobertura vegetal, caso observado nesse estudo. Ela aumenta simultaneamente na camada superficial e conseqüentemente promove diminuição na compactação do solo. Castellano e Valone (2007) e Pei, Fu e Wan (2008) constataram a melhora da infiltração de água no solo devido à cobertura vegetal. Além disso, pesquisadores têm mostrado que a compactação do solo tem uma forte influência sobre a infiltração da água. O pisoteio dos animais compacta o solo e reduz significativamente a taxa de infiltração de água (Yong-Zhong *et al.*, 2005; Castellano e Valone, 2007).

A compactação promovida pelo pisoteio dos animais que são colocados nas áreas sem respeitar a capacidade de suporte, interfere no aumento da densidade e diminuição da porosidade do solo. 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 superpastejo de animais. Pei, Fu e Wan (2008) verificaram que há melhoria na infiltração de água no solo na medida em que aumenta o tempo de pousio.

4.1.3 Estabilidade de agregados, diâmetro médio ponderado (DMP) e análise morfoscópica da areia.

A análise de variância apresentada na Tabela 9 revelou efeito significativo isolado do fator “profundidades” sobre os valores de estabilidade de agregados (EA) e diâmetro médio ponderado (DMP).

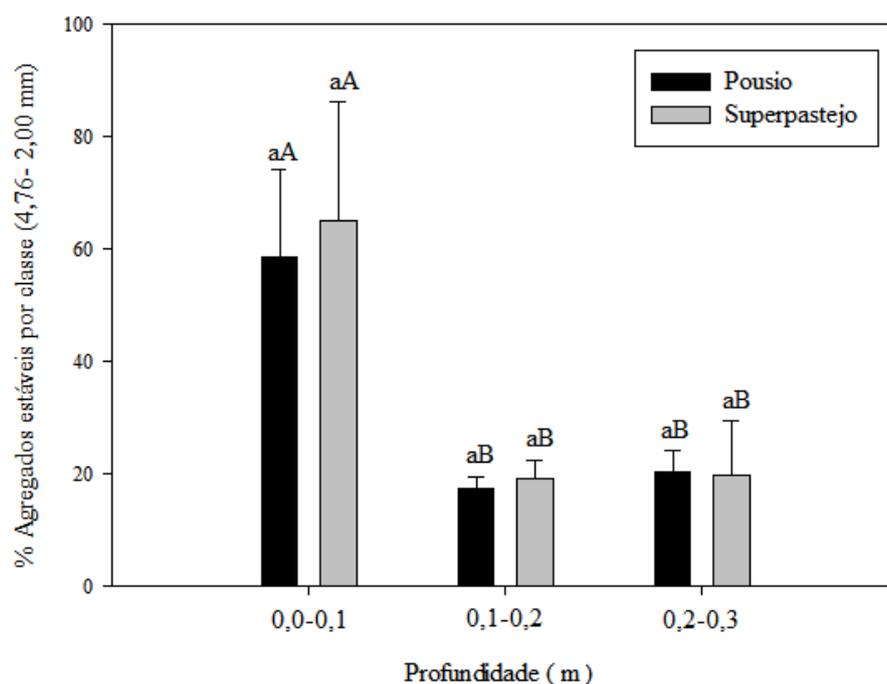
Tabela 9 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para atributos físicos do solo, estabilidade de agregados (EA) e diâmetro médio ponderado (DMP).

Fonte de variação	EA		DMP	
	Valor de F	CV(%)	F	CV(%)
Áreas (A)	0,22 ^{ns}	41,17	0,01 ^{ns}	28,09
Profundidades (B)	43,04 ^{**}	31,8	42,58 ^{**}	19,44
Interação A x B	0,22 ^{ns}		0,72 ^{ns}	

^{ns} Não significativo. ^{**} e ^{*} significativo a 1% e 5% de significância, respectivamente.

No tocante à agregação dos solos analisados verificou-se que não houve diferença estatística significativa entre as áreas (Figura 11). Esse resultado pode ser explicado também pela ausência de diferença entre tratamentos para o teor de carbono orgânico, conforme será apresentado no item 4.2.2. Considerando que a matéria orgânica conduz à formação de agregados mais estáveis devido atuar como um forte agente de ligação e como um núcleo para a formação de agregados, observa-se que ela não influenciou significativamente nesse caso.

Figura 11. Estabilidade de agregados (4,76-2,00 mm) em água nas áreas de pousio e superpastejo.



Fonte: Autora

Média seguida pela mesma letra minúscula (áreas) e mesma letra maiúscula (profundidades), não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Apesar de não ter ocorrido diferença estatística entre áreas, observou-se porcentagem de agregados mais estáveis na área de superpastejo na profundidade de 0,0-0,1 m. Esse resultado não era esperado visto que nessa área o grau de flocculação é menor. A flocculação é o processo de aproximação das partículas primárias do solo, sendo um processo para formação de agregados estáveis. Esperava-se encontrar, na área de pousio, agregados mais estáveis, entretanto a condição de flocculação, por si só, não é suficiente para que ocorra a agregação (ALMEIDA NETO, 2007).

Sabe-se que o processo de agregação do solo é um fenômeno que acontece em duas etapas: a primeira relacionada com a aproximação das partículas do solo e a segunda com a sua estabilização ocasionada por agentes cimentantes (KIEHL, 1979; BAVER *et al.*, 1973). Vários estudos já foram realizados sobre fatores envolvidos na formação e estabilidade de agregados no solo, e identificaram como principais, além da matéria orgânica, a fração

mineral, microrganismos, a fauna do solo, raízes e variáveis ambientais (SALTON *et al.*, 2008).

Tem-se observado que a desidratação do solo diminui a distância entre suas partículas e a união entre elas se faz mais forte, visto que a coesão entre partículas aumenta. Sabe-se que a argila se orienta e é adsorvida na superfície dos grãos de areia. A adição de argila coloidal e areia em ambientes áridos, onde ocorre desidratação, produz o aumento dessas partículas primárias em agregados estáveis em água (AMARO FILHO; ASSIS JUNIOR; MOTA, 2008).

Partículas de areia grossa possuem microlocais favoráveis à deposição, principalmente, de polissacarídeos que se unem aos minerais de argila (DUFRANC *et al.*, 2004). Observando a fração areia total (Tabela 2), verificou-se que ela encontra-se em maior conteúdo na área de pousio, sendo observado maior teor de areia grossa na área de superpastejo, na profundidade de 0,0-0,1 m.

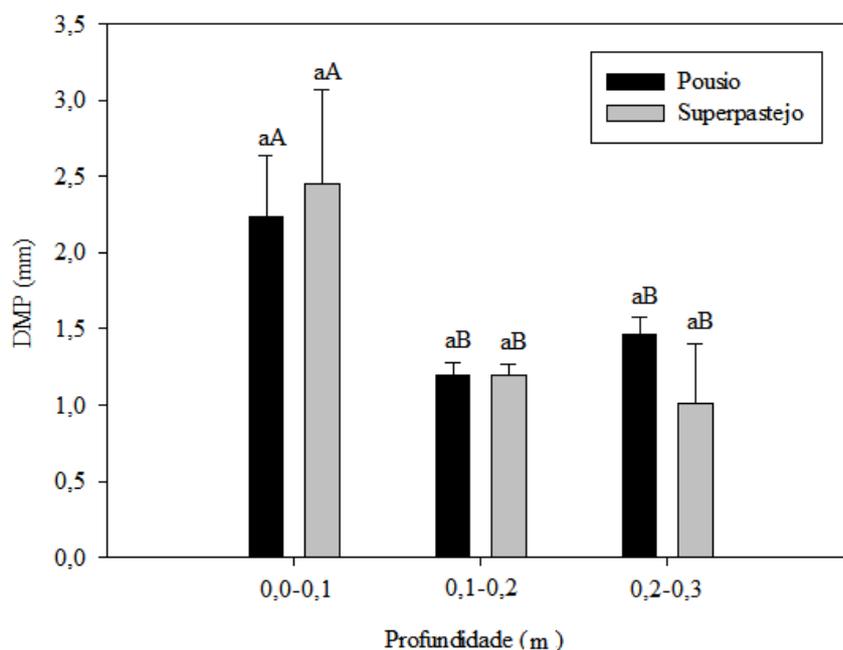
De acordo com Mbagwu *et al.* (1993), foi verificado que solos com grandes quantidades de areia fina e silte dispersam-se facilmente e que solos com forte estabilidade de agregados estão relacionados com teores maiores de areia grossa e argila. Além disso, especula-se que a areia grossa em seu perímetro, por apresentar muitas arestas, poderá ter vários sítios de deposição de argila, com altas concentrações de cargas e possibilidade de adsorver cátions, o que explicaria sua capacidade em aumentar a agregação do solo (ALMEIDA NETO, 2007).

Outro fator que pode estar influenciando na maior porcentagem de agregados estáveis na área de superpastejo é a formação de uma camada mais densa na superfície dessa área. Segundo Boix-Fayos *et al.* (2001), fatores como carbonatos, minhocas e crostas podem aumentar a estabilidade de agregados em ambientes áridos. As crostas são resultantes do rearranjo e consolidação das partículas em uma estrutura superficial coesa.

Essa maior porcentagem de agregados estáveis poderia significar uma condição de solo mais favorável, porém essa suposta melhoria não foi confirmada pelos resultados de densidade e porosidade.

Em relação ao DMP, Figura 12, observam-se resultados semelhantes aos da estabilidade de agregados, uma vez que o DMP é um atributo dependente dos agregados estáveis por classe. Verificam-se, dessa maneira, valores de DMP acima de 0,5 mm, valor considerado por Kiehl (1979) como limite entre baixa e alta estabilidade.

Figura 12. Diâmetro médio ponderado nas áreas de pousio e superpastejo.



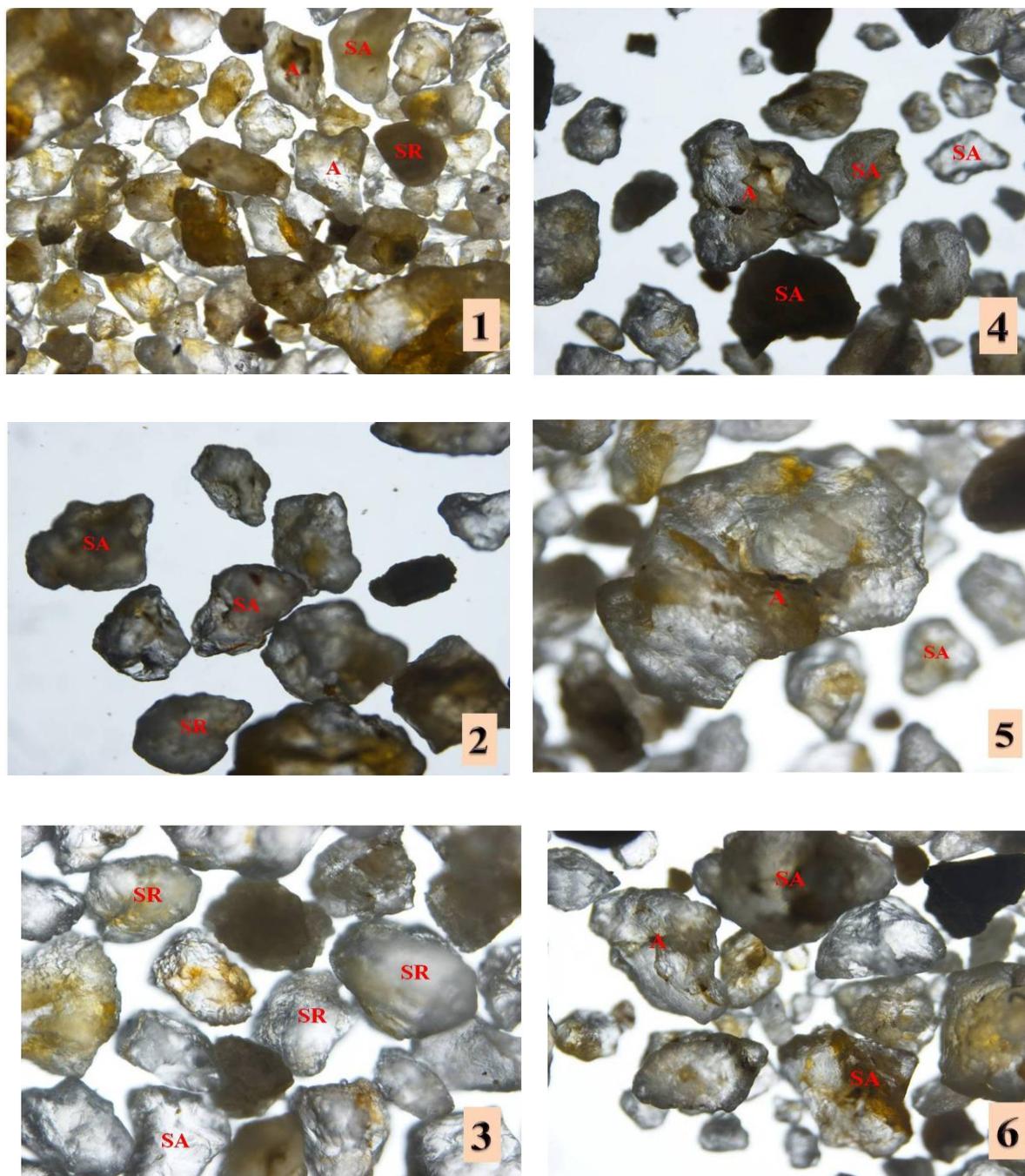
Fonte: Autora

Média seguida pela mesma letra minúscula (áreas) e mesma letra maiúscula (profundidades), não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Conforme já mencionado no item 4.1.1, o solo da área de superpastejo apresenta predominância de areia em sua fração granulométrica (Tabela 2), sendo encontrado maior conteúdo de areia grossa na profundidade de 0,0-0,1 m. Partindo do pressuposto que foi comentado anteriormente de que a areia pode possuir locais favoráveis à deposição de argila e outros compostos, favorecendo o aumento da estabilidade de agregados, foi utilizada a análise morfológica da areia, para verificar as propriedades de esfericidade, rugosidade e saber se existem esses locais.

Os resultados da morfológica indicaram predominância de grãos sub rolados, subangulares na fração areia grossa na área de pousio e de grãos angulares e subangulares na área de superpastejo (Figura 13).

Figura 13- Morfoscopia da fração areia grossa das áreas de pousio e superpastejo.



Fonte: Autora

Pousio: 1,2 e 3

Superpastejo: 4, 5 e 6

A: angular; SA: subangular; SR: sub rolado.

De acordo com a análise morfooscópica, observou-se que a fração grosseira da areia possui microlocais favoráveis à deposição de polissacarídeos e minerais de argila que agem como agentes cimentantes na agregação.

Alguns autores indicam que um dos fatores que promove o adensamento do solo é a má seleção das partículas da areia (RESENDE; CARVALHO; LANI, 1992; ABRAHÃO *et al.*, 1998), pois isto permite a formação de um arranjo mais compacto que favorece a deposição da argila nos poros.

4.1.4. Resistência Tênsil

A análise de variância apresentada na Tabela 10 não revelou efeito significativo isolado para nenhum fator sobre o atributo resistência tênsil (RT) e interação áreas e profundidades.

Tabela 10 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para o atributo físico do solo resistência tênsil (RT).

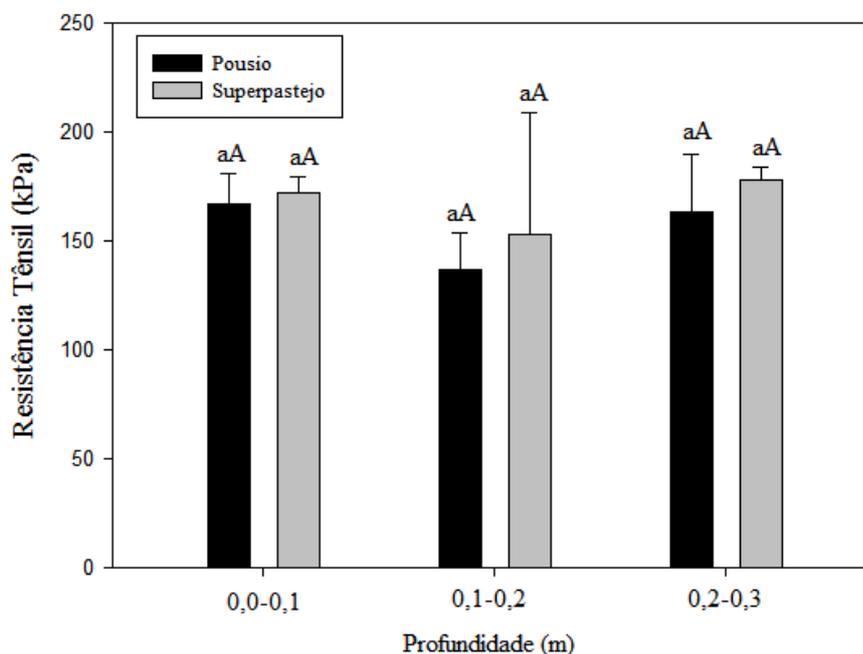
Fonte de variação	RT	
	Valor de F	CV(%)
Áreas (A)	2,51 ^{ns}	11,33
Profundidades (B)	2,59 ^{ns}	15,78
Interação A x B	0,09 ^{ns}	

^{ns} Não significativo. ** e * significativo a 1% e 5% de significância, respectivamente.

Os valores médios de resistência tênsil do solo entre as duas áreas avaliadas não apresentaram diferença estatística em todas as profundidades (Figura 14), mas apesar disso observaram-se maiores valores na área de superpastejo em todas as profundidades quando comparada à área de pousio.

Estudos mostram que vários fatores influenciam a resistência tênsil dos agregados, como composição química e concentração da solução do solo (RAHIMI *et al.*, 2000), teor de argila e mineralogia (BARTOLI *et al.*, 1992; IMHOFF *et al.*, 2002), e matéria orgânica (PERFECT *et al.*, 1995; IMHOFF *et al.*, 2002).

Figura 14. Resistência tênsil dos agregados nas áreas de pousio e superpastejo.



Fonte: Autora

Média seguida pela mesma letra minúscula (áreas) e mesma letra maiúscula (profundidades), não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os valores de carbono orgânico apresentados no item 4.2.2, assim como a resistência tensil, não diferiram entre as áreas. Apesar disso, pode-se observar que os valores de carbono orgânico são inversamente proporcionais aos valores de resistência tensil, comportamento verificado também por Blanco-Canqui *et al.* (2005). Observou-se esse comportamento nas profundidades de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, indicando que o aumento do carbono orgânico implica na redução da resistência tensil. O aumento do carbono orgânico no solo e, conseqüentemente, da matéria orgânica resulta em maior porosidade do agregado, o que diminui o número de ligações entre as partículas; neste caso, então se verifica redução da resistência tensil (TORMENA; FIDALSKI; ROSSI JUNIOR, 2008).

Ao observarmos os valores de resistência tensil do solo com o teor de argila (Tabela 2) e a densidade do solo (Tabela 5), verificamos que os mesmos são diretamente proporcionais, ou seja, a resistência tensil diminuiu na área de pousio com a redução no teor de argila e da densidade do solo em todas as profundidades nessa mesma área, com exceção do valor de densidade do solo na profundidade de 0,2-0,3 m.

De acordo com Blanco-Canqui *et al.* (2005) o aumento da densidade e, conseqüentemente, a diminuição do espaço poroso pode ser causada pela compactação do solo e culminar no aumento da resistência tênsil dos agregados.

De acordo com o que foi explanado pode-se dizer que mesmo sem ter sido observado diferença estatística entre as áreas, o pousio proporcionará melhora na resistência tênsil dos agregados e, conseqüentemente, na qualidade do solo com o passar dos anos.

4.2. Análises químicas

4.2.1 pH em H₂O e KCl

A análise de variância apresentada na Tabela 11 revelou efeito significativo isolado do fator “profundidades” sobre os valores de pH em H₂O e pH em KCl.

Tabela 11 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para o atributos químicos do solo, pH em H₂O e pH em KCl.

Fonte de variação	pH H ₂ O		pH KCl	
	Valor de F	CV(%)	Valor de F	CV(%)
Áreas (A)	5,24 ^{ns}	13,46	2,29 ^{ns}	14,59
Profundidades (B)	62,79 ^{**}	4,86	52,92 ^{**}	5,28
Interação A x B	1,91 ^{ns}		1,68 ^{ns}	

^{ns} Não significativo. ** e * significativo a 1% e 5% de significância e, respectivamente.

Os valores pH em H₂O e em KCl variaram respectivamente de 5,03 a 7,28 e de 4,22 a 5,83 (Tabela 12), apresentando-se, na maioria, com acidez elevada a média. Observou-se que o pH em H₂O é maior que o pH em KCl, o que indica um ΔpH negativo e representa a predominância de cargas negativas em relação às cargas positivas no complexo de troca.

Tabela 12. Valores de pH H₂O e pH KCl nas duas áreas analisadas.

Áreas	Profundidade (m)			Média
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	
	pH H₂O			
Pousio	5,70 aC (± 0,58)	6,48 aB (± 0,83)	7,28 aA (± 0,66)	6,5 a
Superpastejo	5,03 aB (± 0,36)	5,39 aB (± 0,24)	6,76 aA (± 0,19)	5,7 a
	pH KCl			
Pousio	4,44 aC (± 0,45)	5,04 aB (± 0,77)	5,83 aA (± 0,57)	5,10 a
Superpastejo	4,22 aB (± 0,16)	4,35 aB (± 0,19)	5,41 aA (± 0,26)	4,66 a

Média seguida pela mesma letra minúscula na coluna (áreas), e mesma letra maiúscula na linha (profundidades), não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Números entre parênteses: desvio padrão.

Os valores de pH não apresentaram diferença estatística entre as áreas de pousio em relação ao superpastejo. De modo geral, pode-se observar que na área de superpastejo os valores de pH em H₂O e em KCl são mais baixos, mais ácidos, em relação ao pousio. Além disso, verificou-se elevação do pH em profundidade. Estudos mostram o valor do pH significativamente menor nas áreas de pousio (Su et al., 2004; Yong-Zhong et al., 2005; Li et al., 2006; Pei, Fu e Wan, 2008).

O maior valor de pH para o pousio está relacionado aos maiores teores de cátions como Ca²⁺ e Mg²⁺, como mostra no item 4.2.2, nessa área, pois essas bases elevam o pH do solo. Sousa (2009) verificou nessa mesma área de estudo que os valores do pH não apresentaram diferença de comportamento entre pousio e superpastejo, o que implicou ele dizer que, a resposta da prática de pousio varia com a região observada e com o tempo de adoção. Realmente o tempo de adoção promoveu uma alteração no pH na área de pousio em relação ao superpastejo, onde foi observado diminuição do pH na área de superpastejo, mesmo não ocorrendo diferença estatística.

4.2.2 Cálcio, magnésio, sódio, potássio e carbono orgânico.

A análise de variância apresentada na Tabela 13 revelou efeito significativo isolado do fator “áreas” sobre os valores de cálcio (Ca²⁺), sódio (Na⁺) e potássio (K⁺). Para o fator “profundidades” foram significativas para os atributos Ca²⁺, magnésio (Mg²⁺), Na⁺ e carbono orgânico (CO). Para os atributos Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ foram observadas interações áreas e profundidades significativas.

Tabela 13 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para os atributos químicos do solo.

Fonte de variação	Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺	
	Valor de F	CV(%)	Valor de F	CV(%)	Valor de F	CV(%)
Áreas (A)	60,43 ^{**}	16,34	0,23 ^{ns}	33,56	21,63 ^{**}	24,04
Profundidades (B)	97,31 ^{**}	18,55	21,92 ^{**}	27,14	134,32 ^{**}	22,12
Interação A x B	4,16 [*]		3,91 [*]		1,28 ^{ns}	
	K ⁺		CO			
	Valor de F	CV(%)	Valor de F	CV(%)		
Áreas (A)	15,15 ^{**}	34,84	0,18 ^{ns}	24,91		
Profundidades (B)	2,30 ^{ns}	37,7	4,12 [*]	18,42		
Interação A x B	5,29 [*]		2,11 ^{ns}			

^{ns} Não significativo. ^{**} e ^{*} significativo a 1% e 5% de significância, respectivamente.

As médias dos demais atributos químicos avaliados nas duas áreas (pousio e superpastejo) estão apresentadas na Tabela 14. A análise estatística revelou haver diferenças significativas para os atributos Ca^{2+} , Na^+ e K^+ analisados em nível de 1% de significância, entre as duas áreas avaliadas.

Tabela 14. Atributos químicos (cálcio, magnésio, sódio, potássio e carbono orgânico) nas duas áreas analisadas.

Áreas	Profundidade (cm)			Média
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	
Ca^{2+} (cmolc kg⁻¹)				
Pousio	2,07 aC (± 0,66)	4,31 aB (± 0,58)	5,76 aA (± 1,02)	4,04 a
Superpastejo	1,34 bB (± 0,29)	3,24 bA (± 0,38)	3,78 bA (± 0,41)	2,79 b
Mg^{2+} (cmolc kg⁻¹)				
Pousio	2,79 aB (± 1,98)	3,46 aAB (± 0,91)	4,02 aA (± 0,68)	3,42 a
Superpastejo	1,65 bC (± 0,53)	3,50 aB (± 0,40)	4,65 aA (± 0,32)	3,26 a
Na^+ (cmolc kg⁻¹)				
Pousio	0,51 aC (± 0,52)	2,51 bB (± 0,64)	3,48 bA (± 0,46)	2,17 b
Superpastejo	0,98 aC (± 0,44)	3,59 aB (± 0,14)	4,44 aA (± 0,97)	3,00 a
K^+ (cmolc kg⁻¹)				
Pousio	0,16 aA (± 0,07)	0,10 aB (± 0,01)	0,10 aB (± 0,02)	0,12 a
Superpastejo	0,07 bA (± 0,02)	0,08 aA (± 0,02)	0,09 aA (± 0,02)	0,08 b
CO (g kg⁻¹)				
Pousio	6,57 aA (± 0,88)	7,49 aA (± 1,39)	6,46 aA (± 1,29)	6,84 a
Superpastejo	5,55 aB (± 1,68)	7,13 aA (± 0,97)	7,23 aA (± 1,93)	6,63 a

Média seguida pela mesma letra minúscula na coluna (áreas), e mesma letra maiúscula na linha (profundidades), não diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Números entre parênteses: desvio padrão.

Os valores médios de Ca^{2+} e Mg^{2+} encontram-se elevados nas duas áreas, quando comparados às outras bases, sendo observado na área de pousio maiores teores dessas bases. Corrêa *et al.* (2003), estudando 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. Vários estudos com a implantação de pousio reportam o aumento no teor de cálcio e magnésio, potássio, a exemplo dos trabalhos de Descheemaeker *et al.* (2006), Huang; Wang e Wu (2007), Mekuria *et al.* (2007) e Mekuria (2013).

Os teores de Na^+ em ambas as áreas aumentaram em profundidade e podem ser considerados relativamente altos, indicando que as áreas apresentam caráter sódico, atributo que ocorre em Planossolos. Os teores mais baixos de Na encontrados na área de pousio podem ser considerados um aspecto positivo, pois a presença desse elemento pode causar a dispersão da argila, dificultando a estruturação do solo, o que não ocorreu na área desse estudo, pois o pousio não apresentou uma melhor estruturação em relação à área de superpastejo. A maior quantidade de Na^+ no superpastejo pode ser atribuída à proximidade do horizonte B com a superfície, o que foi ocasionado pela perda de solo superficial devido à erosão (FERREIRA, 2015).

O Na^+ é um cátion que promove a expansão da dupla camada difusa e, conseqüentemente, acarreta a dispersão dos colóides do solo, seguida de sua movimentação ao longo do perfil do solo. Uma vez dispersos e em movimento, os colóides podem obstruir os poros, o que interfere sobre as propriedades físicas, infiltração da água, porosidade e aeração. Esse teor mais elevado de Na^+ também eleva o potencial erosivo dessas áreas, devido à presença de partículas de solo dispersas que podem ser facilmente carregadas pela água da chuva, por ter menor grau de floculação (Figura 10).

Em relação ao K^+ maiores teores foram observados na área de pousio em todas as profundidades. Mekuria *et al.* (2007) constataram aumento nos teores de K em áreas de exclusão de animais e, segundo os autores, esse aumento é gradativo com o tempo e relativamente dependente da cobertura vegetal adquirida com o tempo de adoção da prática.

Para o atributo CO não houve diferença significativa entre as áreas em todas as profundidades. Sousa *et al.* (2012) observaram em sua pesquisa realizada na mesma área que sete anos de pousio foram insuficientes para uma acumulação significativa de carbono orgânico total.

De modo geral, percebe-se que 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. Mekuria e Aynekulu (2013) verificaram

valores maiores de nutrientes nas áreas de pousio e constataram que estes valores aumentaram de forma gradativa em função do tempo de adoção.

4.3 Análise de componentes principais (ACP)

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada na matriz de dados constituída por 20 variáveis. A escolha do número de fatores pode levar em conta diferentes critérios, sendo um destes a seleção de autovalores superiores a 1 (VICINI, 2005). Deste modo, foram selecionados dois componentes, cujos valores próprios foram superiores a 1. Estes dois componentes possuem autovalores que correspondem a 69,16% e 12,58% da variância, ou seja, explicam juntos 81,74% das variações das medias originais (Tabela 15).

Tabela 15 - Autovalores e percentual da variância explicada por cada componente.

Número de componentes	Autovalores			
	Extração dos componentes principais		% da variância explicada acumulada	
	Autovalores	% da variância explicada	Autovalores acumulados	% da variância explicada acumulada
1	15,21	69,16	15,21	69,16
2	2,76	12,58	17,98	81,74

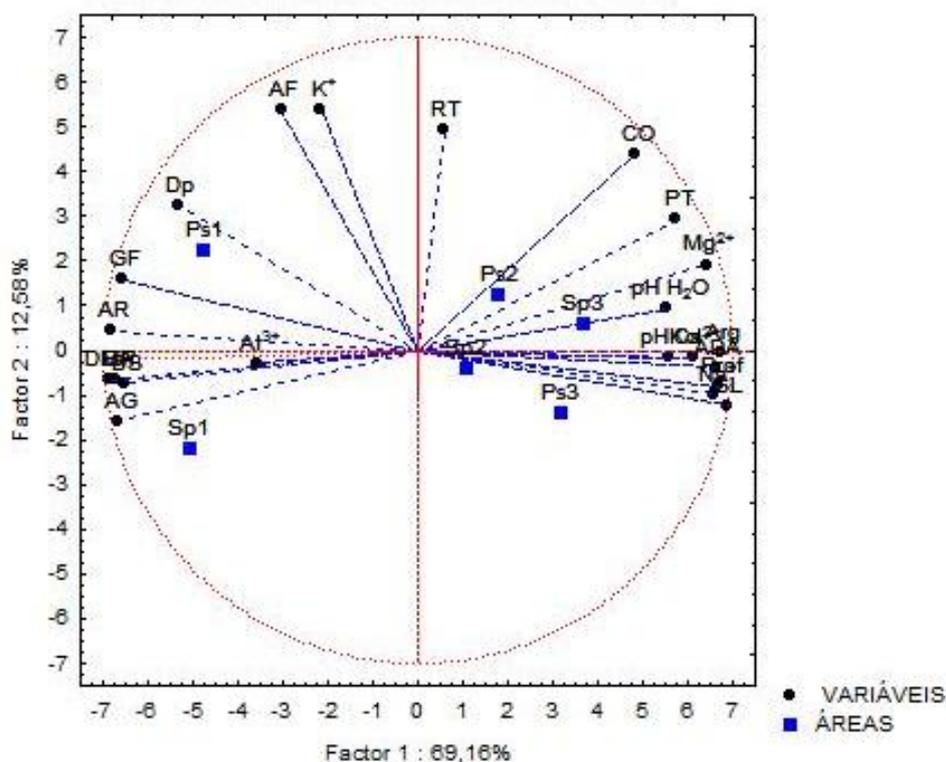
De acordo com Santos (2010), valores de correlação entre os componentes principais e as variáveis acima de 0,6, em módulo, significam que tais variáveis são as que têm maior contribuição para o referido componente. A correlação das variáveis analisadas com os componentes principais está apresentada na Tabela 16. Observa-se que as variáveis que mais contribuíram para o CP1 foram silte, DMP, areia total, estabilidade de agregados, argila, areia grossa, ADA, sódio, GF, densidade do solo, magnésio, cálcio, porosidade total, pH em H₂O, pH em KCl, densidade de partículas e carbono orgânico. Para o CP2 as variáveis que mais contribuíram foram potássio, areia fina e resistência tênsil.

Tabela 16 – Correlação dos atributos analisados com os componentes principais (CP) obtidos a partir dos atributos analisados.

Variável	CP1	CP2
Carbono Orgânico	0,69	0,62
Densidade do solo	-0,92	-0,10
Densidade de partículas	-0,76	0,46
Porosidade total	0,82	0,41
Argila	0,96	-0,00
Areia grossa	-0,95	-0,22
Areia fina	-0,43	0,76
Areia total	-0,97	0,06
Silte	0,98	-0,17
Estabilidade de agregados	-0,96	-0,09
DMP	-0,98	-0,09
Grau de flocculação	0,93	0,22
ADA	0,94	-0,05
Cálcio	0,87	-0,02
Magnésio	0,91	0,27
Sódio	0,94	-0,14
Potássio	-0,30	0,77
pH H ₂ O	0,78	0,13
pH KCl	0,79	-0,22
Resistência Tênsil	0,08	0,70

Para analisar a Figura 15, considera-se que quanto maior a distância das variáveis em relação ao centro do círculo, mais importante ela será para explicação da variância dos dados. Além disso, o menor ou maior ângulo de inclinação da linha em relação a cada eixo significa que a variável está bem ou mal correlacionada com o componente principal, respectivamente. Diante do exposto, ao analisar a Figura 15, constatou-se que as variáveis estão mais distantes do centro. Isso quer dizer que a maior parte das variáveis apresenta boa contribuição aos componentes principais.

Figura 15. Dispersão dos atributos físicos e químicos em duas áreas (pousio e superpastejo).



Fonte: Autora

CO= carbono orgânico; Ca=cálcio; Mg=magnésio; Na=sódio; Al=alumínio; K=potássio; DS=densidade do solo; Dp=densidade de partículas; ADA=argila dispersa em água; Arg=argila; AR: areia total; AG: areia grossa; AF: areias fina; SL=silte; PT=porosidade total; GF=grau de floculação; EA=estabilidade de agregados; DMP=diâmetro médio ponderado; RT: resistência tênsil. Ps e Sp correspondem às áreas pousio e superpastejo respectivamente. Ps1, Ps2 e Ps3 correspondem as profundidades 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3m da área de pousio e Sp1, Sp2 e Sp3 correspondem as profundidades 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3m da área de superpastejo.

Quadrantes opostos apresentam correlação negativa. Esse fato já era esperado, como foi evidenciado na análise univariada na qual foi constatado que a densidade do solo tem correlação negativa com a porosidade, o grau de floculação com a argila dispersa em água, a resistência tênsil com a densidade do solo, indicando que o aumento de uma implica na diminuição na outra variável.

Em se tratando da discriminação que os atributos do solo têm sobre as situações de uso e manejo para cada profundidade avaliada, tem-se que o poder é tanto mais forte quanto mais próximo estiverem no mesmo quadrante. Diante disso, percebe-se que a área de pousio na profundidade de 0,1-0,2 m é semelhante à área de superpastejo na profundidade de 0,2-0,3 m e a área de pousio na profundidade de 0,2-0,3m é semelhante à área de superpastejo na profundidade de 0,1-0,2m. Observou-se ainda que as áreas de pousio e superpastejo na

profundidade de 0,0-01m não são semelhantes, uma vez que não se encontram no mesmo quadrante.

Pode-se observar ainda que a camada superficial de 0,1-0,2m da área de pousio apresenta correlação com as variáveis grau de floculação, areia fina e densidade de partículas. Já na área de superpastejo, na mesma profundidade, verifica-se correlação com as variáveis estabilidade de agregados, DMP e areia grossa. Estes fatos corroboram os resultados das análises univariadas citadas anteriormente.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos evidenciam de modo geral, que 15 anos de adoção da prática de pousio em área sob processo de desertificação, não foram suficientes para constatar um melhora significativa da qualidade física do solo avaliado.

Apesar de não ter ocorrido essa diferença estatística significativa entre a área de superpastejo (desertificada) e área de pousio (exclusão de animais), pode-se observar uma tendência de melhor grau de floclulação, maior infiltração de água no solo e menores valores de resistência tênsil na área de pousio, quando comparada à área de superpastejo, indicando melhoras nos atributos físicos do solo avaliado, podendo dizer então que com o passar dos anos as melhorias poderão ser mais evidentes.

No entanto, como verificado, sabe-se que a prática de pousio demanda muito tempo para se constatar uma melhora significativa. Pensando no problema socioeconômico causado pela desertificação, a prática de pousio para áreas semiáridas e em processo de desertificação, torna-se inadequada, uma vez que ela precisa de muitos anos de adoção, deixando a população sertaneja sem recursos, sendo que a mesma necessitada dessas áreas pra sobrevivência. A prática de pousio deveria ser complementada com outras práticas de recuperação e não a única a ser estabelecida nessas áreas em processo de desertificação.

REFERÊNCIAS

- ABÍLIO, F. J. P.; FLORENTINO, H. S. Impactos ambientais na Caatinga. *In*: ABÍLIO, F. J. P. (Org.). **Bioma Caatinga: Ecologia, Biodiversidade, Educação Ambiental e Práticas Pedagógicas**. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, 2010.
- ABRAHÃO, W. A. P. *et al.* Distribuição de frequência de tamanho da fração areia e compactidade relativa de solos desenvolvidos de sedimentos do grupo geológico barreiras. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 22, p. 1-9, 1998.
- AB' SABER, A. Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil. *In*: ALVARES V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa-MG: SBCS: UFV, 1996. 930 p.
- ADAMO, S. B.; CREWS-MEYER, K. A. Aridity and desertification: exploring environmental hazards in Jáchal, Argentina. **Applied Geography**, v. 26, p. 61-85, 2006.
- ALMEIDA NETO, O. B; **Dispersão da Argila e Condutividade Hidráulica em solos com diferentes mineralogias, lixiviados com soluções salino-sódicos**. 2007. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.
- 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.
- ALENCAR, V. B.; CRUZ, M. L. B. Impactos sócio-espaciais oriundos do processo de desertificação: a dinâmica das unidades geoambientais e suas consequências no município de Irauçuba-CE. **Revista Geonorte**, v.1, p. 721-729, 2012.
- ALLINGTON, G. R. H.; VALONE, T. J. Reversal of desertification: The role of physical and chemical soil properties. **Journal of Arid Environments**, v.74, p. 973-977, 2010.
- 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, p. 39-50, 2012.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em Recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 617-625, 2007.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. **Física do Solo: conceito e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008.
- ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; MELO, R. F. Mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro. *In*: ANGELOTTI, F. *et al.* (Ed.). **Mudanças climáticas e Desertificação no semiárido brasileiro**. Embrapa, 2009, 295 p.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2013. 200 p.

- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.
- ARAÚJO FILHO, J. A. *et al.* Avaliação de leguminosas arbóreas, para recuperação de solos e repovoamento em áreas degradadas, Quixeramobim-CE. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, p.1-4, 2007.
- ASIO, V. B. *et al.* A review of soil degradation in the Philippines. **Annals of Tropical Research**, v. 31, p. 69-94, 2009.
- ASSEFA, D. *et al.* 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.
- BARROS, K. O. *et al.* A pesquisa em desertificação no Brasil: cenários e perspectivas. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 12, p. 46-52, 2008.
- BARROS, L. C. *et al.* Textura, composição e arredondamento dos sedimentos da plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do canal de Santa Cruz e do rio Timbó, Norte do estado de Pernambuco. **Revista Estudos Geológicos**, v. 17, p. 58-70, 2007.
- BARTOLI, F.; BURTIN, G.; GUÉRIF, J. Influence of organic matter on aggregation in Oxisols rich in gibbsite or in goethite. II. Clay dispersion, aggregate strength and water-stability. **Geoderma**, v. 54, p. 259-274, 1992.
- BASSO, F. *et al. et al.* Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin – Southern Italy. **Catena**, v. 40, p. 19–35, 2000.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. Mexico: UTEHA, 1973. 529 p.
- BECERRIL-PINA, R. *et al.* Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico. **Journal of Arid Environments**, v. 120, p. 4-13, 2015.
- BENDING, G. D. *et al.* Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 1785-1792, 2004.
- BEZERRA, L. J. C. **Caracterização dos tabuleiros pré-litorâneos do estado do Ceará**. 2009. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Labomar: Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Aggregates: tensile strength. *In*: LAL, R. (Ed.). **Encyclopedia of soil science**. 2 ed. New York: Taylor & Francis Group, 2006. v.1, p. 45-48.
- BLANCO-CANQUI, H. *et al.* Mechanical properties and organic carbon of soil aggregates in the Northern Appalachians. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p. 1472-1481, 2005.

BOIX-FAYOS, C. *et al.* Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. **Catena**, v. 44, p. 47-67, 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAN-Brasil**. Brasília: MMA, 2004, p. 15-55.

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

CALERO, N.; BARRON, V.; TORRENT, J. Water dispersible clay in calcareous soils of Southwestern Spain. **Catena**, v.74, p. 22-30, 2008.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba:Degaspari, 1997. 132 p.

CARVALHO, C. **Desertificação já atinge uma área de 230 mil km² no Nordeste**. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/amanha/desertificacaoja-atinge-uma-area-de-230-mil-km-no-nordeste-8969806#ixzz2d6DKIPAs>>. Acesso em: 20 set. 2015.

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.

CEARÁ. Secretária dos Recursos Hídricos. Programa de ação de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAE-CE. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hidricos, 2010. 372 p.

CHEN, J. *et al.* Factors affecting soil quality changes in the North China Plain: A case study of Quzhou County. **Agricultural Systems**, v. 91, p. 171- 188, 2006.

CHINA METEOROLOGICAL ADMINISTRATION- CMA.2002. **Comprehensive description of China Duststorm**. Acesso em: <<http://www.duststorm.com.cn>>. Acesso em: 03 out. 2015.

COELHO, V. H. R. *et al.* Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.18, p.64-72, 2014.

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 FILHA, L. S. **Efeitos da aplicação de tortas de pinhão manso e mamona no crescimento do feijão-caupi e nas propriedades químicas e biológica de um solo degradado de Irauçuba-CE**. 2011. 66 f. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

DESCHEEMAECKER, K. *et al.* Litter production and organic matter accumulation in exclosures of the Tigray highlands, Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, v. 233, p. 21-35. 2006.

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

DEXTER, A. R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 31, p.139-147, 1985.

DEXTER, A. R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. *In*: SMITH, K.; MULLINS, C. (Ed.). **Soil and environmental analysis: Physical methods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2000, p. 401-430.

DIAS-FILHO, M. B. Produção de bovinos a pasto na fronteira agrícola. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 20., 2010, Palmas. **Anais...** Palmas, 2010.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996. 410p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. *In*: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994, p.3-21.

D'ODORICO, P. *et al.* Global desertification: Drivers and feedbacks. **Advances in Water Resources**, v. 51, p. 326–344, 2013.

DREGNE, H. Land degradation in drylands. **Arid Land Research and Management**, v. 16, p. 99-132, 2002.

DUFANC, G. *et al.* Atributos Físicos, Químicos e Biológicos Relacionados com a Estabilidade de Agregados de dois Latossolos em Plantio Direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 505-517, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atu. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

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

FAO. **Status of the World's Soil Resources**. 2015. 648 p.

FERREIRA, M. P. S. **Alterações de atributos de solos submetidos ao pousio em núcleo de desertificação.** 2015. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

FERREIRA, J. T. P. **Desenvolvimento de planossolos em distintas condições geoambientais e o efeito do pousio em áreas sob processo de desertificação.** 2015. 123f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Calendário das chuvas no Estado do Ceará.** Disponível em:
<<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/diario?data=h oje>>.
Acesso em: 26 maio 2016.

GALINDO, I. C. 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.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. *In*: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods.** 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, p. 383-411, 1986.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 8 p.

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.

HERRICK, J. E. *et al.* Application of soil quality to monitoring and management: paradigms from rangeland ecology. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 3-11, 2002.

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.

HUFFMAN, E. *et al.* Canadian Agri-Environmental indicators related to land quality: Soil cover, soil erosion, soil salinity and risk of water contamination. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 81, p.113-123, 2000.

IGWE, C. A.; ZAREI, M.; STAHR, K. Clay dispersion of hardsetting Inceptisols in southeastern Nigeria as influenced by soil components. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, p. 751-766, 2006.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DEXTER, A. R. Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 1656-1661, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Produção da Pecuária Municipal 2012**. Disponível em:

<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=230610&idtema=121&search=ceara|iraucuba|pecuaria-2012>>. Acesso em: ago. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ-IPECE. **Perfil básico municipal, Irauçuba**. Fortaleza, 2012.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACAO PARA A AGRICULTURA–IICA. Disponível em: <<http://www.iicadesertification.org.br>>. Acesso em: 30 set. 2013.

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

JONG VAN LIER, Q. Revisiting the s-index for soil physical quality and its use in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1-10, 2014.

KARLEN, D. L. *et al.* The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 297-310, 1992.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition and Framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KAY, B.D. & DEXTER, A.R. The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a Red-Brown Earth. . **Australian Journal of Soil Research.**, 30:297-310, 1992.

KELLER, T.; HAKANSSON, I. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. **Geoderma**, v. 154, p. 398-406, 2010.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. *In*: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, p. 425-442, 1986.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. Piracicaba: Ceres, 1979. 264 p.

KIMPE, C. R.; WARKENTIN, B. P. Soil functions and the future of natural resources. *In*: BLUME, H. P.; EGER, H.; FLEISHHAUER, E.; HEBEL, A.; REIJ, C.; STEINER, K.G. Towards sustainable land use – Furthering cooperation between people and institutions. **Advances in Geoecology**, v. 31, p. 3-10, 1998.

KROL, M. *et al.* Integrated modeling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east of Brazil. **Journal of hidrology**, v. 328, p. 417-431, 2006.

LACERDA, M. A. D.; LACERDA, R. D. Planos de combate à desertificação no Nordeste brasileiro. **Revista de biologia e ciência da terra**, v. 4, 2004.

LAL, R. Farming carbon. **Soil and Tillage Research**, v. 96, p. 1-5, 2007.

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.; ALMEIDA, H. R. R. C. Desertificação em Irauçuba (CE): Investigação de Possíveis Causas Climáticas e Antrópicas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, p. 1-21, 2011.

LANZANOVA, M. E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. 2005. 142 f. Dissertação (Mestrado em Biodinâmica e Manejo do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *In*: DORAN, J. W. *et al.* (Ed.). **Defining soil quality for the sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994.

LEITE, F. R. B.; SOARES, A. M. L.; MARTINS, M. L. R. **Áreas degradadas susceptíveis ao processo de desertificação no Ceará – 2ª aproximação**. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1993. p. 156-161.

LI, X. R.; JIA, X. H.; DONG, G. R. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China. **Journal of Arid Environments**, v. 64, p. 505-522, 2006.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005, 335 p.

LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; LIMA, A. C. R. **Qualidade Física do Solo: Indicadores Quantitativos**. Disponível em:
<<http://www.repdigital.cnptia.embrapa.br/handle/CPACT/10489>>. Acesso em: 19 set. 2016.

LIMA, J. M. *et al.* Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.85-90, 1990.

LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; LIMA, A. C. R. **Qualidade Física do Solo: Indicadores Quantitativos**. Embrapa Clima Temperado, Pelotas. Documentos, 196. 25 p. 2007.

LOGSDON, S. D.; KARLEN, D. L. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 78, p. 143-149, 2004.

MATALLO JÚNIOR, H. (Org.). **Glossário de termos e conceitos usados no contexto da UNCCD**. Brasília: MMA, 2009.

MBAGWU, J. S. C.; PICCOLO, A.; MBILA, M. O. Water-stability of aggregates of some tropical soils treated with humic substances. **Pedologie**, v. 43, p. 269-284, 1993.

MEA. **Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-Being: Desertification Synthesis**. Washington DC: World Resource Institute; 2005.

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. *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.

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.; 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.

MENEZES, R. C. S.; GARRIDO, M. S.; PEREZ, M. A. M. Fertilidade dos solos no semi-árido. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 30., 2005. Recife. **Palestras...** Recife: UFRPE/SBCS, 2005.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Simulação dos fluxos e balanços de fósforo em uma unidade de produção agrícola familiar no semiárido paraibano. *In: SILVEIRA, L. M.; PETERSEN, P.; SABOURIN, E. (Ed.). Agricultura familiar e agroecologia no semiárido: Avanços a partir do agreste da Paraíba*. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2002. p. 249-260.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba, Brasília: MMA, 2007.

MONOKROUSOS, N. *et al.* Soil quality variables in organically and conventionally cultivated field sites. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 1282-1289, 2006.

MONTANARELLA, L. Trends in land degradation in Europe. *In: SIVAKUMAR, M. V.; N'DIANGUI, N. (Ed.). Climate and Land Degradation*. Berlin: Springer, 2007. p. 83–104.

MUNKHOLM, L. J.; SCHJØNNING, P. Structural vulnerability of a sandy loam exposed to intensive tillage and traffic in wet conditions. **Soil and Tillage Research**, v. 79, p. 79-85, 2004.

NIERO, L. A. C. *et al.* Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1271-1282, 2010.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture Ecosystem Environmental**, v. 88, p. 161-168, 2002.

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 semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 19, p. 200-208, 2006.

OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. **Monitoramento da desertificação em Irauçuba**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2015. 372 p.

OLIVEIRA, L. B. *et al.* Classificação de solos Planossólicos do Sertão do Araripe (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 685-693, 2003.

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

PAM/ IRAUÇUBA. **Plano de ação municipal de combate a desertificação de Irauçuba**. Irauçuba, v. 2, 2009. 40.

PANAYIOTOPOULOS, K. P.; BARBAYIANNIS, N.; PAPTOLIOS, K. Influence of electrolyte concentration, sodium adsorption ratio and mechanical disturbance on dispersed clay particle size and critical flocculation concentration in Alfisols. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.35, p.1415-1434, 2004.

PARISI, V., MENTA, C., GARDI, C., JACOMINI, C., MOZZANICA, E., 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. **Agriculture, Ecosystem and Environment** 105, 323–333.

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

PEREZ-MARIN, A. M. *et al.* Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias Estratégicas**, v. 17, p. 87-106, 2012.

PERFECT, E.; KAY, B. D.; SILVA, A. P. Influence of soil properties on the statistical characterization of dry aggregate strength. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 532-537, 1995.

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

PINTO, R. M. S.; CARVALHO, C. V.; ALVALÁ, R. C. S. Mapas de variabilidade temporal do uso e cobertura da terra do núcleo de desertificação de Irauçuba (CE) para utilização em modelos meteorológicos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...**, Natal, 2009. p. 6077-6083.

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, 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.

RAHIMI, H.; PAZIRA, E.; TAJIK, F. Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on tensile strength of aggregates. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p. 145-153, 2000.

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.

REEVES, D. W. The role soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 43, p. 131-167, 1997.

REINERT, D. J. *et al.* Qualidade física dos solos. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*, 16., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBCS, 2006.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/msrs/downloads/Apresentacoes%20aulas%20palestras/Propriedades%20fisicas%20do%20solo%20-%20Reichert_Reinert.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2016.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. *In: CARLESSO, R. et al. (Ed.). Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul*. Santa Maria-RS, 2001. 165 p.

RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A.; LANI, J. L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. *In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO*, 1., 1992, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1992. p. 32-67.

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

REYNOLDS, W.D. *et al.* Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, p. 131-146, 2002.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 65, p. 109-115, 2002.

RÜHLMANN, J.; KÖRSCHENS, M.; GRAEFE, J. A new approach to calculate the particle density of soils considering properties of the soil organic matter and the mineral matrix. **Geoderma**, v. 30, p. 272-283, 2006.

- SÁ, I. B. *et al.* **Desertificação no Semiárido brasileiro**. In: Conferência internacional: clima, sustentabilidade e desenvolvimento em regiões semiáridas (ICID+18), 2., 2010, Fortaleza.
- SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Monitoramento da recuperação da vegetação e solos no núcleo de desertificação de Irauçuba/CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2005.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M. & BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:11-21, 2008.
- SALVATI, L. *et al.* Towards a processbased evaluation of land vulnerability to soil degradation in Italy. **Ecological Indicators**, v. 11, p. 1216–1227, 2011.
- SALVATI, L., ZITTI, M. Assessing the impact of ecological and economic factors on land degradation vulnerability through multiway analysis. **Ecological Indicators**, v. 9, p. 357–363, 2009.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B. Desertificação no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife, 2005.
- 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, p. 67-76, 2005.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y. **Desertificação: conceitos, causas, consequências e mensuração**. Recife: UFPE, Recife, 2002. 85 p.
- SAMPAIO, E.V.S. B. *et al.* **Regeneração da vegetação de Caatinga após corte e queima em Serra Talhada-PE. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 621-632, 1998.
- SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. F. C. **Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado**. Montpellier: ISSS, 1998. CD-ROM.
- SCHJONNING, P. *et al.* Modelling soil pore characteristics from measurements of air exchange: the long-term effects of fertilization and crop rotation. **European Journal of Soil Science**, v. 53, p. 331-339, 2002.
- SCHUMMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition and Framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.
- SHANMUGANATHAN, R.T.; OADES, J. M. Effect of dispersible clay on the physical properties of the B horizon of a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, v. 20, p. 315-324, 1982.
- 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, p. 36-38, 2012.

SILVA, L. G. **Uso e monitoramento de indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade de solos de cerrado sob diferentes ecossistemas.** 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2008.

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

SILVA, S. B. **Análise de Solos.** Belém: Universidade Federal do Pará, 2003, 152 p.

SIQUEIRA, O. J.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. *In:* SANTOS, G. A. *et al.* (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**, 2. ed. rev. atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 495-524.

SIVAKUMAR, M. V. K. Interactions between climate and desertification. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 142, p. 143-155, 2007.

SKOOP, J. M. Physical properties of primary particles. *In:* HUANG, P. M.; LI, Y.; SUMMER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**, Boca Raton: CRC Press, 2002. p. 1-16.

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, F. P. **Degradação de solos por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação: o caso de Irauçuba, Ceará.** 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

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.

SOUTO, P. C. *et al.* Decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semiárido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, p. 125-130, 2005.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Políticas públicas do solo e desertificação nos Cariris Velhos/PB (Brasil). **Revista Scripta Nova**, v. 14, 2010.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils.** New York: Oxford University Press, 1989. 277 p.

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

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 317 p.

TABOADA-CASTRO, M. M. *et al.* Revegetation on a removed topsoil: Effect on aggregate stability. **Communications In Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, p. 771-786, 2009.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Water-dispersible clay in soils treated with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 34, p. 1527-1534, 2010.

TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; ROSSI JUNIOR, W. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 33-42, 2008.

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION – UNCCD. **United Nations Convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa**, 1994. p. 4.

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION – UNCCD. **Secretariat for the Convention to Combat Desertification**, Bonn, 1999.

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION - UNCCD. **An Introduction to the United Nations Convention to Combat Desertification and Frequently Asked Questions**. Bonn: UNCCD, 2002.

UNESCO. Aridity definition (UN documents), **United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization**, New York. 1979. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/unesco/resources/publications>. Acesso em 15 de out. 2016.

VALONE, T. J. *et al.* Timescale of perennial grass recovery in desertified arid grasslands following livestock removal. **Conservation Biology**, v. 16, p. 995-1002, 2002.

VAN BAVEL, C. H. M. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 14, p. 20-23, 1949.

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

VERÓN, S. R.; PARUELO, J. M.; OESTERHELD, M. Assessing desertification. **Journal of Arid Environments**, v. 66, p. 751-763, 2006..

VEZZANI, M. L.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. 2005. 215 p. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VOGEL, G. F. *et al.* Efeitos da adubação com dejetos suínos, cama de aves e fosfato natural na recuperação de pastagens degradadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, p. 66-71, 2013.

XLSTAT. **Xlstat 2013 add-in for Excel (Trial Version)**. New York, 2013. Disponível em: <<http://www.xlstat.com>>. Acesso em: 25 set. 2016.

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.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

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.