



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-SOLOS E NUTRIÇÃO DE
PLANTAS

MIRELE PAULA DA SILVA FERREIRA

ALTERAÇÕES DE ATRIBUTOS DE SOLOS SUBMETIDOS AO POUSSO EM NÚCLEO
DE DESERTIFICAÇÃO

FORTALEZA
2015

MIRELE PAULA DA SILVA FERREIRA

ALTERAÇÕES DE ATRIBUTOS DE SOLOS SUBMETIDOS AO POUSIO EM NÚCLEO
DE DESERTIFICAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.

FORTALEZA
2015

A Deus.

A minha família.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo em todos os momentos, iluminando-me e guiando, dando-me a graça de mais uma vitória.

Aos meus familiares, por estarem presentes nesta caminhada.

À minha turma de mestrado, pelos momentos passados juntos, de alegria, angústia, apoio e descontração, em especial a Faby (Fabiana Gadelha), pelo companheirismo e apoio.

Aos amigos do grupo de pedologia, em especial, Gislaine Marques, Daniel Pontes, Lilian Rafaelly, Cleuda Estevam, Sabrina Sales, pela ajuda e tornarem os dias passados no laboratório agradáveis.

À Priscilla Alves e Hermano Melo, pela ajuda incondicional na coleta de solo.

A Juciane Sousa, pela sua disponibilidade e esclarecer a execução de uma análise.

À Adriana Guirado, Priscilla Alves, Isabel Cristina, pela paciência e colaboração, a ajuda de vocês foi essencial.

Ao Prof. Ricardo Espíndola Romero, pela orientação e amizade.

À Banca examinadora, pelas contribuições dadas a este trabalho.

Aos Professores do Departamento de Ciências do Solo, pelos conhecimentos transferidos, paciência e colaboração.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo, Franzé, Antônio José e Fátima.

Ao Laboratório de Física do Departamento de Ciências do Solo, pela disponibilidade do espaço e empréstimo de equipamentos para realização das análises.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), ao Departamento de Ciências do Solo e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade da realização do curso de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo apoio financeiro.

A todos que de alguma forma contribuíram neste trabalho.

*“A semente morre para que a flor apareça; a crisálida,
para que apareça a borboleta... Na verdade,
a transformação não é instantânea, nem a transição,
um processo agradável e sem sofrimento.
A natureza exige esforço e paciência como
preço do desenvolvimento.”*

James Allen

RESUMO

A degradação do solo pode ocorrer em função do manejo inadequado, o qual pode acarretar na improdutividade do solo e, em certas situações, levar ao processo de desertificação. Uma das causas da degradação é o sobrepastejo, ocasionando perda da biodiversidade do estrato vegetal pela pressão do ramoneio e compactação do solo pelo pisoteio excessivo dos animais, trazendo implicações ao solo nas propriedades físicas, químicas e biológicas, comprometendo assim a sustentabilidade do agrossistema. Uma alternativa para recuperar a degradação do solo é a prática do pousio, pois essa é de fácil execução e de baixo custo para restaurar as propriedades do solo que proporciona aporte de matéria orgânica, importante condicionador do solo. Com isso, objetivou-se comprovar a hipótese que o tempo de pousio de 14 anos melhora os atributos físicos e químicos do solo em áreas degradadas em processo de desertificação. As áreas selecionadas para o estudo estão localizadas no município de Irauçuba, no Estado do Ceará, Brasil. Foram realizadas coletas de solo em cinco áreas de sobrepastejo, em cinco áreas de pousio e em uma área de mata, esta servindo como área de referência. Análises físicas e químicas do solo como: densidade do solo, porosidade total, grau de flocculação, pH, condutividade elétrica, capacidade de troca de cátions (CTC), carbono orgânico total, índice de manejo de carbono e fracionamento físico do carbono orgânico, foram feitas a fim de avaliar as modificações nos atributos físicos e químicos destas áreas. O manejo de pousio apresentou melhorias em atributos físicos e químicos do solo quando avaliado após 14 anos de retirada dos animais, mas quando comparada ao trabalho realizado na mesma área em 2009, com 7 anos de pousio, evidência que as áreas ainda estão em processo de degradação. O teor de carbono orgânico foi maior nas áreas de pousio e a fração com maior proporção foi o carbono orgânico associado aos minerais.

Palavras-chave: Degradação do solo. Semiárido. Sobrepastejo. Carbono orgânico do solo.

ABSTRACT

Soil degradation can occur because of inadequate management, which may result in soil unproductive and, in certain situations, lead to the desertification process. One of the causes of degradation is overgrazing, causing loss of biodiversity of plant strata by the pressure of ramoneio and soil compaction by excessive trampling of animals, bringing implications to the ground in the physical, chemical and biological properties, thereby undermining the sustainability of the agroecosystem. An alternative to recover soil degradation is the practice of fallow, because that is easy to perform and inexpensive to restore soil properties that provides input of organic matter, important soil conditioner. With that aimed to prove the hypothesis that the time of 14 year fallow improves the physical and chemical soil in degraded areas in the process of desertification. The areas selected for the study are located in the municipality of Irauçuba in the state of Ceará, Brazil. Soil samples were taken in five areas of overgrazing, in five areas of fallow and in a forest area, is serving as the reference area. Physical and chemical analysis of the soil as soil density, total porosity, flocculation, pH, electrical conductivity, cation exchange capacity (CTC), total organic carbon, carbon management index and physical fractions of organic carbon, were done to assess the changes the physical and chemical attributes of these areas. The management of fallow showed improvements in physical and chemical soil when assessed after 14 years of withdrawal of animals, but when compared to the work done in the same area in 2009, with 7 years of fallow, evidence that the areas are still in the process of degradation. The organic carbon content was higher in the areas of fallow and the fraction with the highest proportion was the organic carbon associated to minerals.

Keywords: Soil degradation. Semiarid region. Overgrazing. Soil organic carbon.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 HIPÓTESE	11
3 OBJETIVOS	11
3.1 Objetivo geral.....	11
3.2 Objetivos específicos.....	12
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
4.1 Degradação do solo	13
4.2 Desertificação	14
4.3 Sobrepastejo	17
4.4 Matéria orgânica do solo	18
5 MATERIAL E MÉTODOS	22
5.1 Caracterização da área	22
5.2 Tratamentos e Amostragem	24
5.3 Análises físicas.....	28
5.4 Análises químicas	30
5.5 Análise estatística	32
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6.1 Atributos físicos	33
6.2 Atributos químicos	37
6.3 Carbono orgânico total (COT) e fracionamento físico do COT	43
6.4 Índice de Manejo do Carbono.....	47
7 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental vem se acentuando quando comparada aos tempos remotos, visto que a crescente exploração dos recursos naturais, muitas vezes mal planejadas e sem manejo adequado, acarreta graves consequências, levando a exaustão dos ecossistemas e gerando preocupação no meio acadêmico e na sociedade em geral. O uso irracional dos recursos naturais causa impacto na vegetação e nas propriedades do solo, principalmente em regiões áridas e semiáridas, as quais são mais propensas a atingir o processo de desertificação.

Segundo a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (UNCCD), desertificação é a degradação de terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, em decorrência de ações antrópicas e mudanças climáticas. Dentre os fatores que causam a desertificação, pode-se citar o uso intensivo do solo sem manejo adequado, o desmatamento de grandes áreas, as queimadas indiscriminadas, a sobrecarga animal, a erosão hídrica e eólica, as secas prolongadas e as enchentes.

As áreas afetadas por processos de desertificação resultante de ações humanas e condições climáticas, somadas às condições socioeconômicas, são conhecidas no Brasil como núcleos de desertificação. No Brasil, os núcleos de desertificação reconhecidos são os de Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (RN), Cabrobó (PE), abrangendo 18.177 km², e outros dois núcleos foram identificados, o do Sertão do São Francisco (BA) e Cariris Velho (PB), aumentando a área em processo de desertificação para 55.236 km² (CARVALHO, 2013).

No semiárido do Ceará, Irauçuba é considerada uma das áreas mais críticas ao processo de desertificação. Antes era uma região rica em forragem e fauna, hoje, a vegetação está escassa, devido ao desmatamento e criação descontrolada de bovino, passando para a criação de ovinos e caprino por serem animais mais resistentes para sobreviver em um ambiente com pouco pasto e água.

O sobrepastejo é considerado a principal causa do processo de desertificação no município de Irauçuba, pois os animais compactam o solo com o pisoteio, além de consumir toda a vegetação, acarretando perda de cobertura do solo, deixando-o desprotegido e favorecendo o escoamento superficial da água, levando a perda de solo e nutrientes por erosão.

Atualmente, devido a grande abrangência de áreas desertificadas ou em processo de desertificação no planeta, tem-se buscado alternativas para evitar ou reverter à degradação. Dessa maneira, condutas adequadas como controle da erosão, manejo do pastejo e do fogo e correção da salinidade podem atender a esse fim. Outra alternativa utilizada é a adoção do manejo de pousio, que consiste na suspensão do cultivo e/ou do pastejo de uma área para que ocorra a recuperação natural da fertilidade do solo.

No semiárido brasileiro, tem-se utilizado a técnica de proteção e pousio da área, visando restaurar o ambiente degradado de forma econômica. Em Irauçuba, o potencial de retorno das áreas em processo de desertificação pode ser verificado pelas áreas em pousio existentes na região. Porém, o tempo de restauração depende do grau de degradação ao qual o solo foi submetido.

Portanto, objetivou-se com esse trabalho estudar a restauração de áreas degradadas em processo de desertificação após 14 anos de exclusão animal, no município de Irauçuba, a fim de avaliar, por meios de análises físicas e químicas dos solos, suas consequências, em termos ambientais, comparando as áreas de pousio e de sobrepastejo.

2 HIPÓTESE

- O tempo de pousio de 14 anos melhora as propriedades físicas e químicas do solo em áreas degradadas em processo de desertificação em relação às áreas de sobrepastejo.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

- Avaliar os atributos físicos e químicos dos solos submetidos ao manejo de sobrepastejo e pousio de áreas sob processo de desertificação, no município de Irauçuba-CE.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar os atributos físicos e químicos dos solos como: densidade do solo, porosidade total, grau de flocculação, pH, condutividade elétrica, capacidade de troca de cátions, carbono orgânico total;
- Avaliar a capacidade do sistema de manejo em alterar a qualidade do solo e teor de matéria orgânica do solo;
- Quantificar o carbono após o fracionamento físico da matéria orgânica do solo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Degradação do solo

O solo é um importante recurso natural, que pode ser degradado se utilizado de forma irracional, tendo como efeito, a redução da qualidade de vida da população e da economia, comprometendo o desenvolvimento sustentável. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), a degradação, principalmente do solo e da água, atinge níveis críticos, refletindo na deterioração do ambiente, na deposição de sedimentos e na poluição dos cursos d'água.

Como efeito da redução da qualidade do solo, pode-se citar a redução de carbono orgânico, de nutrientes, do armazenamento e regulação de água e da biodiversidade, bem como a perda de habitat, pois a degradação diminui a capacidade de suporte da biomassa vegetal e com conseguinte perda de espécies mais sensíveis (GISLADOTTIR; STOCKING, 2005).

Essas perdas podem ser ocasionadas por vários fatores, dentre eles, o fogo, visto que esse afeta as características do solo, como a mineralogia, repelência à água, microbiologia e redução da matéria orgânica (MATAIX-SOLERA *et al.*, 2011), contribuindo assim para a diminuição da diversidade da fauna e da flora. A presença da vegetação é fundamental, uma vez que, contribui para melhorar a fertilidade do solo, é responsável pela ciclagem dos nutrientes da biomassa vegetal e favorece a manutenção do nível de umidade no sistema. Não obstante, sua demasiada retirada ocasiona o declínio dos teores de matéria orgânica e nutrientes presentes no solo (TRAVASSOS; SOUZA, 2011).

Outra atividade que contribui para a degradação do solo é a pecuária, que na região semiárida do Nordeste é praticada, predominantemente, de forma extensiva, baseado em condições de sobrepastejo, reduzindo a capacidade produtiva das pastagens e levando a sua degradação (ARAÚJO FILHO, 2013).

Essa atividade é comum no semiárido, no qual predomina a agricultura de sequeiro, onde a degradação do solo geralmente se manifesta com a erosão, levando também, além das perdas já citadas, à compactação, formação de crostas e invasão por ervas daninhas (KASSAS *et al.*, 1991 *apud* KASSAS, 1995).

Quanto à compactação, que ocasiona aumento da densidade do solo, é provocada pela ação humana ou de animais, resultando na redução da porosidade devido ao rearranjo das partículas do solo (REICHERT *et al.*, 2010).

Ferreira (2010) corrobora que a densidade reflete no sistema poroso do solo, complementando que alterações significativas desse – como o aumento da densidade – podem interferir no desenvolvimento das raízes e no armazenamento de água, e que ao ser analisada ao longo do tempo pode fornecer informações do uso e manejo ao qual o solo está submetido.

Assim, as ações que levam à crescente degradação dos solos acarretarão no desenvolvimento do processo de desertificação, resultando em perdas econômicas ou no abandono das terras por parte dos trabalhadores que, na maioria das vezes, não possuem sua posse (SANTOS, 2011).

O processo de desertificação pode ser revertido por meio do manejo de pousio, que consiste na retirada de animais domésticos da área a fim de que haja reestabelecimento da vegetação, proporcionando maior cobertura do solo e acúmulo de matéria orgânica, melhorando assim sua fertilidade e estruturação (REEDER; SCHUMAN, 2002).

4.2 Desertificação

A desertificação tem sido apontada por pesquisadores e ambientalistas como um problema de impacto para os dias atuais devido aos danos que pode causar, tanto de ordem política, econômica, social e cultural, quanto ambiental (BARROS *et al.*, 2008).

O início do processo de desertificação, segundo Pachêco, Freire e Borges (2006), se dá pela redução da cobertura vegetal 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 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, sobrepastejo, 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).

A causa mais relevante para a degradação da vegetação e desertificação em regiões semiáridas é o sobrepastejo, pois a pressão de pastejo pode impossibilitar o reestabelecimento da vegetação que já está debilitada pelos fatores ambientais (ARAÚJO FILHO, 2013).

Abrangendo a maioria das áreas secas do mundo, a desertificação é resultado de alterações que ocorrem de forma rápida na cobertura e composição vegetal, nas condições hidrológicas ou propriedades do solo, levando à perda de serviços do ecossistema, representando grande ameaça aos meios de subsistência sustentáveis. Assim, a desertificação está relacionada com as mudanças que duram por longas décadas, provavelmente de forma irreversível (D'ODORICO *et al.*, 2013).

Radnaev e Mikheeva (2011) relatam que mais de 1 bilhão de hectares de terra no mundo estão em processo de desertificação. No futuro, a desertificação ameaçará cerca de 3,2 bilhões ha de terra, em que vivem mais de 700 milhões de 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).

Devido à abrangência e significância do assunto, no debate ocorrido na 2ª Conferência Científica da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD), realizada na Alemanha, chegou-se à conclusão que o custo de não se fazer nada para combater a desertificação é maior do que o da ação. Apenas a degradação do solo custa à comunidade internacional aproximadamente 490 bilhões de dólares por ano, valor bastante elevado que poderia ser gasto com ações para evitar e neutralizar o problema, já que ameaça um terço da superfície terrestre e a subsistência de mais de 1,2 bilhão de pessoas (REGO, 2013).

No Brasil, as áreas suscetíveis à desertificação abrangem o trópico semiárido, subúmido seco e áreas de entorno, que compreende aproximadamente 1.340.863 km² e abrange um total de 1.488 municípios nos nove Estados do Nordeste, além do norte de Minas Gerais e do norte do Espírito Santo (MMA, 2007).

Estudiosos se referem ao semiárido como uma das regiões brasileiras mais vulneráveis às mudanças climáticas. Os impactos oriundos do aumento da temperatura e 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). O surgimento de manchas de solo exposto é a característica principal do fenômeno de desertificação no semiárido nordestino (GALINDO *et al.*, 2008).

Anualmente áreas do tamanho de 2.000 km² se transformam em deserto devido à ausência de chuvas. Estudos indicam que cerca de 36% das áreas do Brasil apresentam risco de desertificação, encontrando-se já 28% destas áreas afetadas 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).

As áreas onde esse problema é mais marcante são chamadas de núcleos de desertificação, destacando-se no Brasil quatro núcleos localizados no Nordeste: Seridó, localizado na região centro-sul do Rio Grande do Norte e centro-norte da Paraíba; Irauçuba, no noroeste do Estado do Ceará, abrangendo os municípios de Irauçuba, Forquilha e Sobral; Gilbués no Piauí e Cabrobó em Pernambuco (MMA, 2007).

A vegetação típica destes núcleos e do semiárido nordestino é a caatinga. Essa, devido ao uso inadequado das atividades socioeconômicas tem perdido suas características geológicas primárias, o que favorece o surgimento ou intensificação da erosão dos solos, déficit hídrico, alteração da biodiversidade, colaborando para a amplificação da desertificação (TRIGUEIRO *et al.*, 2009).

Portanto, medidas devem ser tomadas com a finalidade de evitar que se chegue à desertificação, pois, com a retirada em excesso da vegetação nativa, o papel estabilizador gerado pela cobertura vegetal é reduzido ou deixa de ser exercido (TRAVASSOS; SOUZA, 2011). Dessa forma, a mudança temporal na produtividade da vegetação é indicador chave da desertificação (HELLDÉN; TOTTRUP, 2008).

Assim, buscar os efeitos do processo de desertificação nos atributos do solo e na sucessão da vegetação, permite obter melhor percepção dos mecanismos da desertificação, proporcionando a busca por medidas para combater e minimizar os riscos desse processo (HUANG *et al.*, 2007).

O pousio pode ser utilizado como forma de recuperação da área de pastagem degradada, com a finalidade de recompor a área de reserva legal da propriedade, ou recuperação de áreas que não deveriam ter sido originalmente desmatadas (DIAS-FILHO, 2010).

A prática do pousio, na época da Revolução Agrícola, tinha um papel estratégico na agricultura, porém foi suprimido devido à evolução das estruturas produtivas. O manejo do pousio é conhecido como a interrupção do cultivo de uma área, por um ou mais anos para que ocorra a regeneração natural da fertilidade do solo (VEIGA, 2007).

O principal fator para adoção do pousio é a capacidade de resiliência do solo para a recuperação da fertilidade e da cobertura vegetal, sendo a forma habitualmente usada para recuperar áreas degradadas. No entanto, devido ao aumento da demanda por produtos agrícolas o tempo de pousio praticado na região semiárida do Brasil tem se reduzido, o que intensifica o uso da terra e diminui a capacidade de resiliência do solo (CEARÁ, 2010 *apud* ALMEIDA; OLIVEIRA; ARAÚJO, 2012).

4.3 Sobrepastejo

No semiárido brasileiro, a pecuária destaca-se como a principal atividade econômica, sendo, porém, limitada pelas condições climáticas. A pecuária explora principalmente a pastagem nativa e a atividade é marcada por baixa produtividade (GIONGO, 2011).

Segundo Ibáñez (2007), as terras áridas, que ocupam 5.158 milhões de hectares no mundo, são utilizadas predominantemente (88%) com pastagens. Da área total mundial considerada como sendo afetada pela desertificação, 93% estão ocupadas por pastagens. Uma das principais causas da desertificação em pastagens é o sobrepastejo, pois o grande número de animais colocados no pasto tende a diminuir a cobertura vegetal, favorecendo a erosão do solo. Assim, a importância da vegetação para o ecossistema é devido ao seu poder amortecedor, pois há redução do impacto das gotas da chuva no solo, proporcionando maior infiltração de água, menor escoamento superficial e erosão hídrica, além de participar na ciclagem de nutrientes.

Daily (1995) e Reynolds *et al.* (2007) corroboram que o pastoreio por gado é considerado o principal fator que promove a desertificação. Manzano e Nívar (2000) concluíram em sua pesquisa que um único sobrepastoreio de cabras foi o suficiente para provocar alterações na cobertura foliar das plantas e aumentar a densidade do solo.

Em sistema de pastoreio contínuo, mesmo na ocorrência de chuvas, os animais permanecem na área durante todo o período, isso favorece a compactação do solo e a constante depreciação da pastagem, devido a longas distâncias em que os animais percorrem em busca de alimento selecionado, maximizando o pisoteio (LANZANOVA, 2005).

Deste modo, 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 restauração devido à redução da compactação do solo, resultando tanto em aumento da infiltração de água, quanto do teor de nutrientes.

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).

4.4 Matéria orgânica do solo

A manutenção da matéria orgânica do solo é importante para a adequada atuação dos atributos químicos, físicos e biológicos em ecossistemas de regiões de climas temperados e tropicais. Dessa forma, é possível assegurar a fertilidade do solo, abrandar a erosão e proteger a biodiversidade (SIX *et al.*, 2002).

Segundo Schjonning *et al.* (2002) e Reeves (1997), o teor de matéria orgânica é o melhor indicador da qualidade do solo e da sustentabilidade do ecossistema. De acordo com Martins *et al.* (2010), além do teor de matéria orgânica, o carbono da biomassa microbiana do

solo, o teor de cálcio, a acidez potencial e a saturação por bases são os atributos mais sensíveis que podem ser utilizados como indicadores do nível de degradação do solo.

Cerri *et al.* (2007) e Six *et al.* (2002) relatam que de todo o carbono orgânico presente no solo, parte encontra-se na forma de matéria orgânica, sendo essa facilmente decomposta na falta de práticas de manejo conservacionistas. A outra parte é liberada para a atmosfera como CO₂. No entanto, o processo de aumento do estoque de matéria orgânica no solo é lento e necessita de manejo adequado, especialmente em regiões de clima tropical, onde a taxa de decomposição é mais acentuada devido às altas temperaturas e umidade do solo. A redução de estoque de carbono é relatada por Giongo *et al.* (2010) pelo exercício da agropecuária e do extrativismo, devido a alterações provocadas no uso da terra.

As perdas de carbono do solo alteram o estoque de matéria orgânica, trazendo sérias consequências para a diminuição da qualidade do solo e, por conseguinte, da sustentabilidade dos ecossistemas. Desta forma, as práticas de manejo do solo que culminem em perdas de carbono, redução na biodiversidade e a alteração em processos responsáveis pela ciclagem de nutrientes, comprometem o equilíbrio dos ecossistemas, podendo provocar a degradação (SIQUEIRA; SOARES; SILVA, 2008).

Portanto, podem-se observar benefícios com o aumento de carbono orgânico no solo, pois esse melhora a estrutura, diminui a susceptibilidade a 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).

Uma forma de avaliar a qualidade do ambiente por meio do carbono orgânico é a utilização do índice de manejo de carbono (IMC), sugerido por Blair *et al.* (1995), uma vez que permite avaliar a dinâmica da matéria orgânica de um sistema de manejo em relação a um sistema de referência estável do solo. Em situações experimentais, esse índice pode ser usado para supervisionar as alterações na dinâmica do carbono do solo entre os tratamentos e ao longo do tempo.

Nicoloso (2005) relata que o IMC pode ser importante ferramenta nas decisões a respeito dos sistemas de manejos de solos ou culturas avaliadas, pois integra numa mesma medida, as variações ocorridas nas diferentes frações da matéria orgânica do solo.

Para melhor compreender a dinâmica da matéria orgânica do solo, essa é compartimentada em fração viva e morta. A fração morta compõe-se de materiais em estágios

iniciais de decomposição (frações particuladas) e materiais em fases avançadas de decomposição, chamado de húmus (DICK *et al.*, 2009). As substâncias húmicas são de lenta mineralização e atuam nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (TATZBER *et al.*, 2007).

Para avaliar se tal uso do solo se direciona para uma melhor ou pior qualidade ambiental, o fracionamento físico densimétrico ou granulométrico pode atender esse objetivo (ROSCOE; MACHADO, 2002). No fracionamento granulométrico o carbono orgânico é dividido em carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais, que correspondem ao carbono na fração lábil e não lábil, respectivamente.

O carbono orgânico particulado é separado por dispersão e peneiramento do solo associada à fração areia (COP > 53 μm). É composto por material vegetal ou animal parcialmente decomposto, podendo também fazer parte hifas fúngicas, fragmentos de raízes, sementes e pelotas fecais (GREGORICH; JANZEN, 1996 *apud* CHRISTENSEN, 2001). Conceição *et al.* (2005) relatam que o carbono orgânico particulado é uma importante fração por sua função na ciclagem de nutrientes, podendo ser considerada uma fração lábil no solo.

A fração particulada da matéria orgânica está ligada a labilidade do carbono do solo, pois esse sofre influência do teor de resíduo adicionado ao solo, bem como do manejo e tipo de solo, sendo maior em sistema conservacionista e auxilia na avaliação da qualidade de sistemas de manejo (ZANATTA, 2006).

O acúmulo de carbono na fração particulada está ligado à recente adição de resíduos na superfície do solo (ROSSI, 2012). Quanto ao carbono orgânico associado aos minerais, esse é mais estável devido a sua estabilidade química pela interação com a fração mineral e proteção física por localizar-se no interior de microagregados, bem como pela sua composição que lhe permite maior recalcitrância química (BAYER, 2006 *apud* BAYER, 2004).

Na matéria orgânica do solo, é função da fração lábil fornecer nutrientes às plantas, por meio da mineralização, energia e carbono aos microrganismos do solo, pois é elevada sua taxa de decomposição, permanecendo por pouco tempo no solo. Já a fração humificada tem maior permanência no solo e fornece aproximadamente 2/3 do carbono orgânico, tendo como principal função agir sobre as propriedades físicas e químicas do solo,

possuindo também importante papel no sequestro de carbono atmosférico (SILVA; MENDONÇA, 2007 *apud* SILVA *et al.*, 2011).

Sousa *et al.* (2012) mostram em sua pesquisa que o sistema de pastoreio pode causar modificações nos solos, destacando a redução da matéria orgânica. Assim, o sistema de pousio resulta em maiores teores de carbono orgânico na fração lábil e fração húmica, indicando mudanças expressivas nos teores da matéria orgânica.

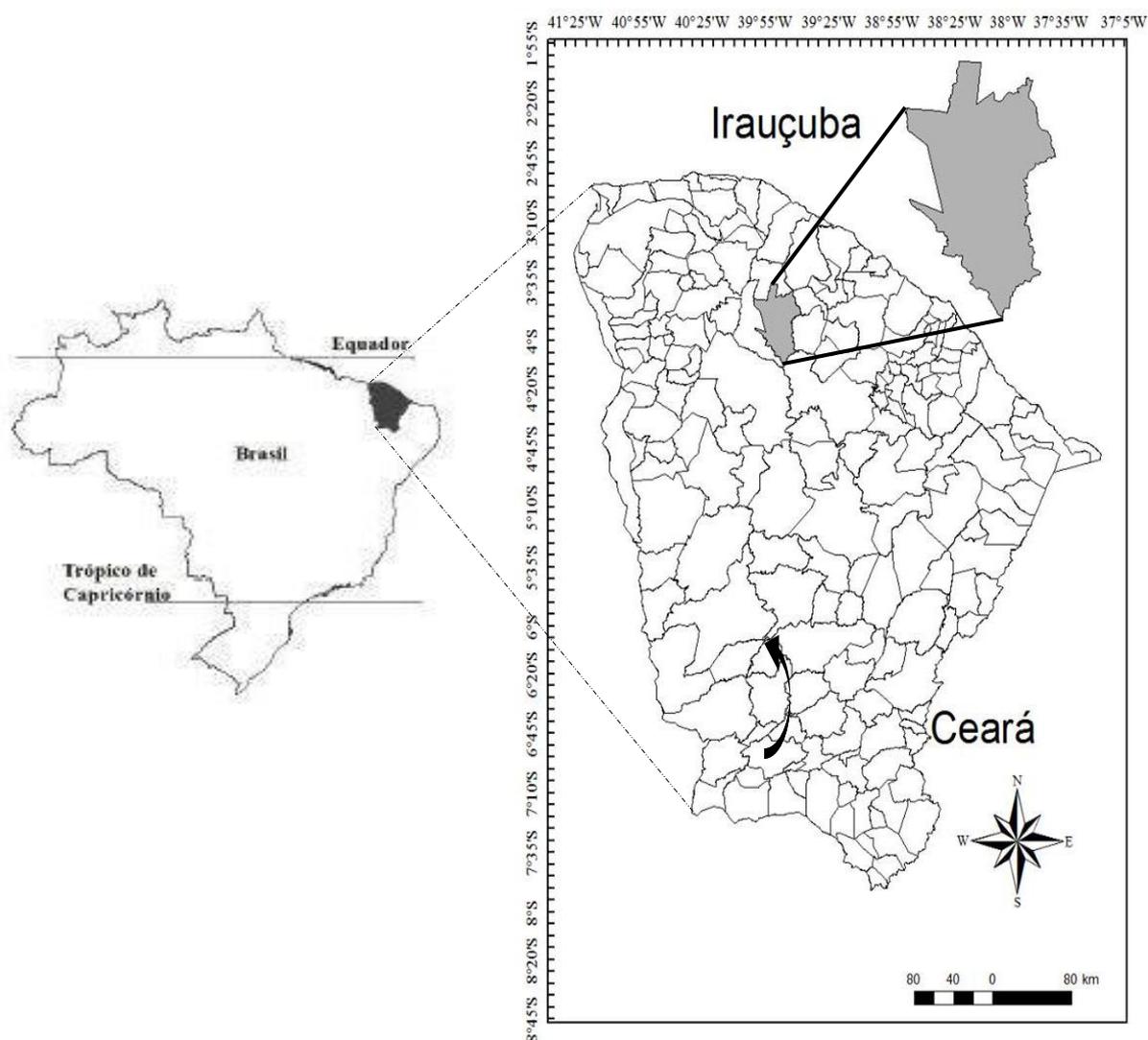
Pei, Fu e Wan (2008) relatam que o pastoreio contínuo intensifica a desertificação, pois degrada a vegetação, reduz a quantidade de nutrientes essenciais ao solo e aumenta a erosão eólica. Assim, as áreas livres do pastejo proporcionam a recuperação da vegetação, resultando em aumento significativo da cobertura vegetal e da biomassa, bem como em melhoria nos teores de carbono orgânico do solo, nitrogênio total e de água após a exclusão da pecuária.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área

O estudo foi realizado no município de Irauçuba, localizado no sertão centro-norte do Estado do Ceará, microrregião de Sobral, nas coordenadas geográficas 3°44'46''S e 39°47'00''W Gr (Figura 1).

Figura 1 - Localização do município de Irauçuba, Ceará.



Fonte: Adaptado de Rodrigues, 2009 e Araújo, 2015.

O município de Irauçuba possui pluviosidade média anual de 539,5 mm e período chuvoso de janeiro a abril. O clima da região é tropical quente semiárido, com temperatura média entre 26° e 28°C, com solos predominantemente classificados como Planossolos Solódicos, Neossolos Litólicos, Argissolos e Luvisolos (IPECE, 2012). A vegetação é do tipo caatinga arbustiva densa (IPECE, 2012) e a atividade econômica da região é a pecuária extensiva de bovinos e ovinos, em sobrepastejo.

A região de Irauçuba está inserida em depressão sertaneja, maciços residuais e planícies aluviais. Em meio à depressão sertaneja ocorrem áreas de acumulações inundáveis, localizadas em setores mais rebaixados, com altitudes inferiores a 200 metros, com ocorrência de relevo plano ou suave ondulado, sujeito a inundações periódicas, representado pela associação de Planossolos Solódicos, solos halomórficos e Neossolos Litólicos (SALES; OLIVEIRA, 2006).

As áreas de estudo desse trabalho estão localizadas, segundo Sales e Oliveira (2006), em áreas de acumulação inundáveis, onde a cobertura vegetal é representada pela ocorrência de um tapete herbáceo-graminóide, contínuo na estação chuvosa, com poucas espécies arbustivas e arbóreas, e sua instalação é favorecida pela impermeabilidade do horizonte superficial dos Planossolos, enquanto a maior parte dos solos são expostos no período seco e a vegetação é submetida ao sobrepastejo.

Ainda segundo os mesmos autores, no levantamento da floral local foram identificadas 112 espécies representando 35 famílias, além de forrageiras como a herbácea *Stylosantes* (*Stylosantes humilis Kunth*) e de gramíneas do tipo milhã (*Brachiaria sp*, *Panicum sp*), espécies tomadas como indicadoras de pastagens nativas com alta produtividade.

O Núcleo de Desertificação de Irauçuba está relacionado a uma classe de solo predominante na região, os Planossolos Háplicos e Nátricos, provenientes de saprólitos de micaxisto e gnaisses, ocorrendo inclusões de Neossolos Litólicos e Regolíticos (PEREZ-MARIN *et al.*, 2012; LUSTOSA, 2004). As duas classes de solo a serem estudados nas áreas são Planossolos e Neossolo Litólico.

Os Planossolos são caracterizados por serem solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, de permeabilidade lenta ou muito lenta, pouco profundos, que apresentam horizonte A de textura arenosa, contrastando com o horizonte B, por esse apresentar transição clara ou abrupta com o horizonte subjacente (A ou E) (EMBRAPA, 2013). Os solos que

apresentam horizontes superficiais A e E mais espessos são utilizados na agricultura familiar de subsistência sem irrigação, não sendo indicados para manejos irrigados, devido ao elevado risco de encharcamento e salinidade (FUNCEME, 2012).

Ribeiro *et al.* (2009) relatam que nas áreas degradadas do semiárido os Planossolos são bastante susceptíveis à erosão devido a mudança textural abrupta, pouca profundidade, presença de Na⁺ e baixos teores de matéria orgânica. Os Planossolos que apresentam maior risco de degradação são os que apresentam a espessura do horizonte (A+E) inferior a 30 cm, enquanto os mais espessos apresentam menor susceptibilidade à degradação.

Os Neossolos são constituídos por material mineral ou orgânico, raso e com pequena atuação dos processos pedogenéticos. Devido ao contato lítico, são pouco profundos, apresentando redução do volume de água e de nutrientes disponíveis para as plantas, como restrição ao aprofundamento do sistema radicular, em especial quando se tem rochas expostas (OLIVEIRA, 2011).

Ribeiro *et al.* (2009) e Oliveira (2011) descrevem que os Neossolos Litólicos são solos com alta susceptibilidade à erosão em decorrência da pouca profundidade e da posição do relevo, pois os que se encontram em relevo mais acidentado apresentam maior potencial para degradação.

5.2 Tratamentos e Amostragem

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

Foram avaliadas cinco áreas, compostas por uma subárea de pousio, com exclusão de animais domésticos por período de 14 anos e uma subárea de sobrepastejo, em que geralmente pastejam ovinos e caprinos, localizadas conforme (Tabela 1) e (Figuras 2 e 3). A área de referência para o cálculo do IMC é uma área que não foi desmatada, porém apresenta características de vegetação secundária.

Tabela 1 – Localização das áreas de pousio no município de Irauçuba, CE.

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

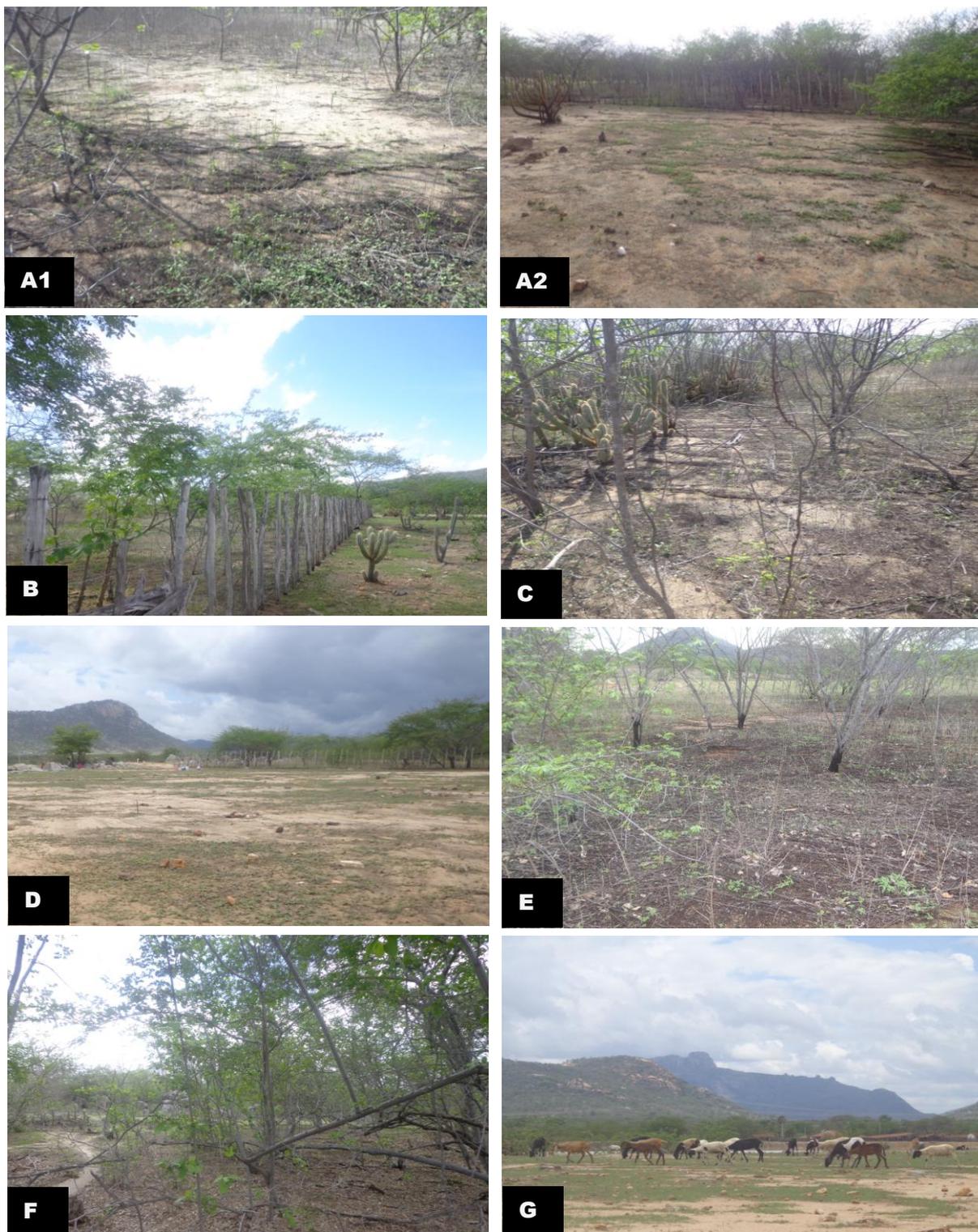
Fonte: Adaptado de Sousa, 2009.

Figura 2 – Imagem de satélite das áreas de estudo, localizada no município de Irauçuba, CE.



Fonte: Google Earth, 2010.

Figura 3 – Áreas de estudo localizadas no município de Irauçuba, CE.



Fonte: Ferreira, 2014.

Sp: sobrepastejo. Ps: pousio.

Ps da área 1 (A1), Sp da área 1 (A2), Sp e Ps da área 2 (B), Ps da área 3 (C), Sp da área 4 (D), Ps da área 5 (E), Área de referência (F), Animais pastando (G).

As subáreas de pousio foram cercadas, desde o primeiro semestre do ano de 2000, para evitar a entrada de animais domésticos com o fim de verificar seu potencial de regeneração de forma natural. Atualmente a cobertura vegetal dessas subáreas é composta por espécies arbustivas, herbáceas, cactáceas e serapilheira. Cada subárea cercada contém 0,25 hectares com as dimensões de 50 x 50 m. A área não cercada próxima das subáreas de pousio, medindo 50 m x 50 m, foi selecionada como subárea de sobrepastejo, pois permanecem em condições de sobrepastejo animal (Figura 4).

A coleta foi realizada em março de 2014. A sistemática de coleta de amostras de solo adotada baseou-se na escolha de quatro pontos aleatórios em cada subárea de amostragem: quatro na subárea de pousio e quatro na subárea de sobrepastejo, e nestes pontos foram abertas 4 minitrincheiras, representando 4 repetições. As amostras coletadas foram do horizonte A, de acordo com a profundidade dos mesmos, variando até 4,5 cm, para análises físicas e químicas (Figura 4). Dados das características do solo dos perfis das áreas encontram-se na Tabela 2.

Figura 4 – Imagem de satélite com o esquema de localização das minitrincheiras representando as repetições das áreas de estudo no município de Irauçuba, CE.



Fonte: Google Earth.

Tabela 2 – Características dos perfis dos solos estudados nas áreas de estudo no município de Irauçuba, CE.

Área	Tipo de Solo	Textura do Horizonte A	Espessura do Horizonte A (cm)
1	Planossolo Nátrico órtico vertissólico A fraco	Franco arenosa	4,5
2	Planossolo Nátrico órtico vertissólico A fraco	Areia franca	3,0
3	Planossolo Nátrico órtico vertissólico A fraco	Franco arenosa	3,5
4	Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário A fraco	Areia Franca	4,5
5	Planossolo Nátrico órtico típico A fraco	Franco arenosa	4,0

Fonte: Sousa (2009) e Ferreira (2014).

As minitrincheiras foram abertas com o auxílio de enxada e de pá, e para a coleta das amostras de solo dos horizontes de superfície (A), utilizaram-se facas. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas, colocadas para secar em casa de vegetação e, em seguida, destorroadas e peneiradas em tamis de malha de 2,0 mm, obtendo-se terra fina seca ao ar (TFSA), para posterior análises físicas e químicas. Amostras com estrutura indeformada foram coletadas com auxílio do amostrador tipo Uhland e com anel cilíndrico de 2,5 cm de altura para as análises de densidade do solo e porosidade total do solo.

5.3 Análises físicas

As análises físicas foram realizadas de acordo com a metodologia descrita em EMBRAPA (2011).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando como dispersante químico o hexametáfosfato de sódio $(\text{NaPO}_3)_6$ e agitador horizontal como dispersor mecânico. Essa análise foi realizada com a finalidade de se obter o valor da argila total (AT) para a realização do cálculo do grau de floculação (GF).

Para determinação da argila dispersa em água (ADi) seguiu o mesmo procedimento do método da pipeta, mas sem o uso de dispersante químico.

O grau de floculação foi calculado por meio da relação entre a argila dispersa em água e a argila total obtida pela análise granulométrica, conforme equação (1).

$$GF = \frac{AT - ADi}{AT} \times 100 \quad (1)$$

sendo: GF = grau de floculação (%)

AT = argila total

ADi = argila dispersa em água

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico.

A densidade das partículas foi determinada segundo o método do balão volumétrico, que consiste na determinação do volume de álcool etílico gasto para completar a capacidade de um balão de 50 mL contendo 20 g de solo seco em estufa.

A porosidade total foi determinada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas, de acordo com a equação (2):

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

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

5.4 Análises químicas

As análises químicas realizadas seguiram a metodologia descrita em EMBRAPA (2011).

O pH em água foi determinado potenciométricamente por meio de eletrodo imerso em suspensão solo: líquido (H₂O) na relação 1:2,5.

Os cátions cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) trocáveis foram extraídos por cloreto de potássio (KCl 1 M) e determinados por absorção atômica. Já o potássio (K⁺) e o sódio (Na⁺) trocáveis foram extraídos com solução de acetato de amônio (C₂H₇NO₂) e determinados por espectrofotômetro de chama.

Para a determinação do teor de alumínio e o hidrogênio, acidez potencial (Al³⁺ + H⁺ no solo), a extração foi feita utilizando solução de acetato de cálcio [(CH₃COO)₂Ca.H₂O] e a sua determinação feita por compleximetria. O alumínio (acidez trocável), foi extraído com solução de cloreto de potássio (KCl 1M) e determinado por compleximetria. O hidrogênio, acidez não trocável (H⁺), foi determinado pela diferença entre a acidez potencial e a acidez trocável.

Os valores da soma de bases (S), da capacidade de troca de cátions (CTC) e da porcentagem de saturação por bases (V) foram calculados utilizando os resultados das análises químicas. A soma de bases foi obtida pela soma dos valores das bases trocáveis Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺, enquanto a capacidade de troca de cátions foi obtida pela soma das bases com a acidez potencial. O valor de V% foi estimado pela relação entre a soma de bases e a capacidade de troca de cátions a pH 7,0, ou seja : $V = (S/T) \times 100$ e, a porcentagem de saturação por sódio foi determinada pela relação entre Na⁺ e a CTC.

A condutividade elétrica (CE) foi analisada no do extrato de saturação, por meio da preparação da pasta saturada com água e determinada por condutimetria.

Para determinação do carbono orgânico total (COT) utilizou-se a metodologia proposta por YEOMANS; BREMNER (1988) e adaptada por MENDONÇA; MATOS (2005), na qual a oxidação da matéria orgânica se processa em via úmida. Para tal procedimento foi tomada uma porção de TFSA, a qual foi moída em almofariz e posteriormente retirada 0,5 g dessa porção. Então, adicionaram-se 5 mL da solução de dicromato de potássio e 7,5 mL de ácido sulfúrico concentrado para oxidar o carbono presente

nas amostras. Para maximizar a oxidação do carbono pelo dicromato, utilizou-se uma fonte externa de calor, colocando-se as amostras em bloco digestor e mantendo-as na temperatura de 170 °C por 30 minutos. Após a oxidação do carbono, o extrato foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal, utilizando a solução de ferroin como indicadora.

O fracionamento físico do carbono orgânico do solo foi realizado seguindo o método proposto por Cambardella e Elliot (1992), no qual a dispersão ocorre em meio aquoso. Foram utilizados 20 g de TFSA e 80 ml de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹), agitado por 16 h em agitador horizontal a 140 batidas por minuto. Em seguida, com a utilização de uma peneira de malha de 0,053 mm e jatos de água, isolou-se o material retido na peneira (fração areia), o qual foi seco em estufa a 50 °C e moído em gral de porcelana. Do material retido na peneira foi determinado o carbono orgânico particulado (COP) utilizando o método proposto por YEOMANS; BREMNER (1988) e adaptado por MENDONÇA; MATOS (2005).

O carbono orgânico associado aos minerais (COAM) foi determinado por diferença entre os valores de COT e COP.

As frações de carbono orgânico lábil (C_{Lab}) e carbono não lábil (C_{NLab}) foram obtidas segundo o método de Chan *et al.* (2001) adaptado por Mendonça e Matos (2005), por meio da oxidação do carbono nas seguintes concentrações de ácido sulfúrico (H₂SO₄): 3, 6, e 9 mol L⁻¹ e titulado com sulfato ferroso amoniacal [Fe (NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O] 0,5 mol L⁻¹ na presença da solução de ferroin como indicadora.

Assim, foram obtidas quatro frações:

- F1 = 3 mol L⁻¹;
- F2 = 6 mol L⁻¹ – 3 mol L⁻¹ (diferença entre carbono orgânico oxidável extraído entre 6 mol L⁻¹ e 3 mol L⁻¹);
- F3 = 9 mol L⁻¹ – 6 mol L⁻¹ (diferença do carbono orgânico oxidável extraído entre 9 mol L⁻¹ e 6 mol L⁻¹);
- F4 = COT – 9 mol L⁻¹.

A soma das frações F1 e F2 foram consideradas como carbono orgânico lábil e a soma das frações F3 e F4 como carbono não lábil.

Com base nas variações dos teores de COT do solo da área de referência e dos tratamentos, foram calculados os seguintes índices:

- Índice de Compartimento do Carbono

$$ICC = COT_{\text{(pousio e sobrepastejo)}} / COT_{\text{(área referência)}} \quad (3)$$

- Labilidade

$$L = C_{\text{Lab}} / C_{\text{NLab}} \quad (4)$$

- Índice de Labilidade

$$IL = L_{\text{(pousio e sobrepastejo)}} / L_{\text{(área referência)}} \quad (5)$$

Com esses índices calculados, determinou-se o Índice de Manejo do Carbono de acordo com Blair *et al.*, (1995).

$$IMC = ICC \times IL \times 100 \quad (6)$$

5.5 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco áreas e dois tipos de manejo, com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 0,05. Utilizou-se o programa SISVAR (Ferreira, 2008) para a análise estatística dos dados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Atributos físicos

A análise de variância apresentada na Tabela 3 revelou efeito significativo isolado do fator “áreas” sobre os valores de densidade (Ds) e porosidade total do solo (PT). Para o fator “manejos” foi significativa para todas as variáveis, exceto para densidade de partícula (Dp). Foi também observada interação áreas x manejos apenas para o atributo Ds (Tabela 3).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para atributos físicos do solo nas áreas de pousio e sobrepastejo em um núcleo de desertificação, Irauçuba – CE, 2014.

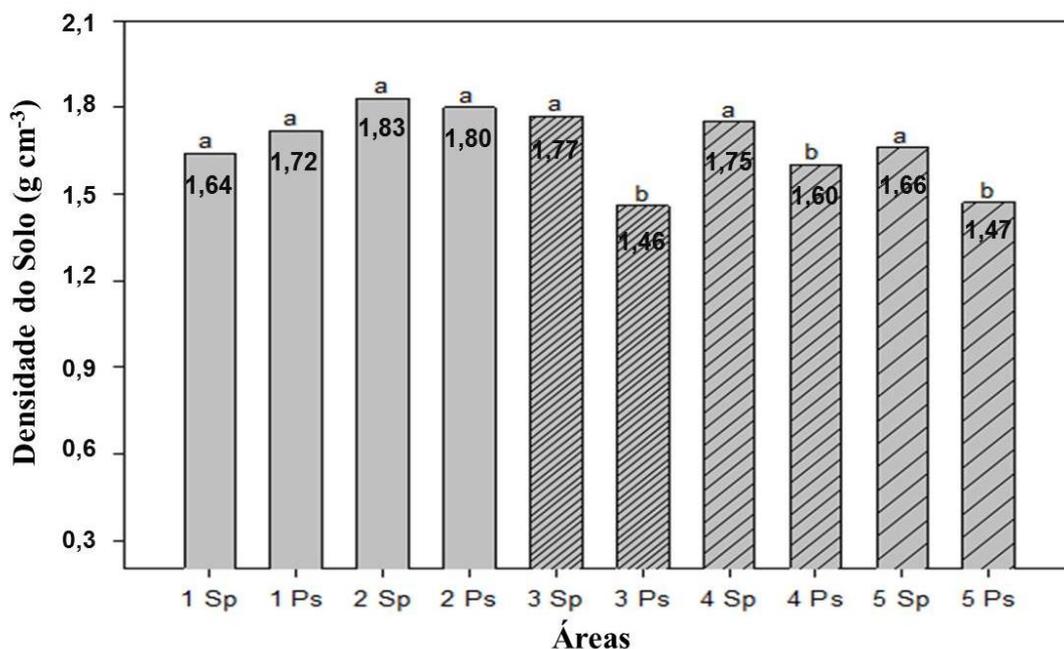
Fonte de variação	Ds	Dp	PT	GF
	.....Valor F.....			
Área (A)	7,75 ^{**}	0,85 ^{ns}	4,81 ^{**}	2,25 ^{ns}
Manejo (B)	15,42 ^{**}	0,03 ^{ns}	6,41 [*]	4,17 [*]
Interação A x B	5,00 ^{**}	2,32 ^{ns}	2,19 ^{ns}	1,36 ^{ns}
CV (%)	5,72	4,51	16,95	31,55
Manejos	.....g cm ⁻³%.....	
Sobrepastejo	-	2,53 a	30,99 b	49,66 b
Pousio	-	2,52 a	35,91 a	60,93 a
Áreas	.....g cm ⁻³%.....	
1	-	2,56 a	33,49 ab	48,95 a
2	-	2,47 a	25,92 b	70,91 a
3	-	2,52 a	36,24 a	51,92 a
4	-	2,56 a	34,43 a	48,44 a
5	-	2,49 a	36,89 a	56,27 a

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

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. Ds: densidade do solo, Dp: densidade de partícula, PT: porosidade total, GF: grau de floculação.

Os valores de densidade do solo variaram de 1,46 a 1,83 g cm⁻³, sendo que nas áreas 3, 4 e 5, foi possível observar a redução desses valores em situação de pousio em relação às áreas de sobrepastejo (Figura 5).

Figura 5 – Densidade do solo nas áreas de pousio e sobrepastejo em um núcleo de desertificação, Irauçuba – CE, 2014.



Letras diferentes dentro de cada área diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Sp: Sobrepastejo, Ps: Pousio.

A densidade do solo com valores mais elevados para o manejo de sobrepastejo pode ser devido ao constante pisoteio dos animais, causando a compactação e consequentemente o impedimento à penetração de raízes. Segundo Hamza e Anderson (2005), as raízes diminuem sua capacidade de penetração no solo quando a densidade e a resistência do solo aumentam.

Quanto à textura, nas áreas estudadas os horizontes superficiais apresentam textura areia franca e franca arenosa. Brady (1989) relata que solos arenosos possuem densidade mais elevada que solos de textura fina, pois as partículas sólidas tendem a formar menos agregados, além de não possuir poros internos aos agregados, diminuindo o espaço poroso total.

De acordo com Reichert *et al.* (2003), valores críticos de densidade para solos com textura franca e arenosa, estão na faixa de 1,6 a 1,8 g cm⁻³. Verificando as áreas em estudo, observa-se que a área 2 possui valores de densidade de solo em torno de 1,8 g cm⁻³, independente do manejo, as áreas 3 e 4 de sobrepastejo e a área 1 de pousio também apresentam densidade do solo maior do que 1,7 g cm⁻³. O valor mais elevado de densidade de solo nessas áreas, pode ser devido ao elevado nível de degradação propiciado pelo pisoteio dos animais, considerando que na área de pousio 1, onde existe maior cobertura vegetal comparada a área de sobrepastejo, pode também ser causado pelo pisoteio, porém antes da retirada dos animais.

Sousa (2009), estudando as mesmas áreas desse trabalho, observou que o período de 7 anos de pousio não apresentou diferença significativa para a densidade do solo que variou de 1,35 a 1,52 g cm⁻³ para pousio e 1,51 a 1,60 g cm⁻³ para sobrepastejo. Comparando os resultados desse autor com esse trabalho, constata-se que a densidade do solo aumentou nos dois manejos com o tempo, no entanto, deve-se destacar que foram empregadas metodologias diferentes na determinação da densidade do solo.

Observa-se que, nas áreas com valores elevados de densidade do solo, o período de 14 anos de pousio ainda não foi suficiente para alterar esse atributo a valores abaixo da densidade crítica. Porém, as áreas de pousio 3, 4 e 5, possuem valores mais baixos de densidade e, com isso, proporciona melhorias nos outros atributos físicos do solo, como maior porosidade e grau de floculação (Tabela 1). A retirada de animais e o teor considerável de carbono orgânico (26,45 g kg⁻¹, 14,17 g kg⁻¹, 13,23 g kg⁻¹, 12,96 g kg⁻¹, 10,4 g kg⁻¹ para as áreas 5, 3, 1, 4 e 2 respectivamente), influenciaram nessa melhora, visto que esses fatores contribuem para variações na densidade do solo.

Pei, Fu e Wan (2008) relatam que áreas livres de pastoreio de gado, nos períodos de 2 e 6 anos, observou-se maior teor de carbono (1,95 e 2,21 g kg⁻¹) associado a redução da densidade do solo (1,5 a 1,53 g cm⁻³) enquanto que na área com pastagem degradada, onde foi mantido o pastoreio de gado, foram encontrados maiores valores de densidade (1,81 g kg⁻¹ e 1,58 g cm⁻³). Assim, a alteração ocasionada no solo devido ao manejo pode possibilitar que as áreas livres de animais possam vir a ter melhor desenvolvimento de raízes, permeabilidade, drenagem devido à redução da densidade e aumento no teor de matéria orgânica no solo.

Ferreira (2010) ratifica que a densidade reflete no sistema poroso do solo, que alterações significativas como o aumento da densidade podem interferir no desenvolvimento das raízes e no armazenamento de água.

Quanto à porosidade total, observa-se que a área 2 diferiu das áreas 3, 4 e 5 por possuir porosidade total de apenas 25,92 % enquanto as demais variaram de 34,4% a 36,9% e não diferiram da área 1 com 33,5% (Tabela 3). Enquanto que na avaliação dos manejos, o pousio possui valor mais elevado da porosidade total, indicando melhores condições nesses solos compactados.

Os valores da porosidade total do solo refletiram na densidade das áreas estudadas de forma inversa, pois a densidade do solo diminuiu na medida em que a porosidade total aumentou. Assim, no pousio, ou seja, com menor compactação do solo por pisoteio de animais, comparada com a de sobrepastejo, os valores de densidade do solo foram menores e a porosidade total foi maior, e conseqüentemente, houve o aumento de espaços vazios, permitindo a circulação de gases, água e crescimento de plantas.

Segundo Camargo *et al.* (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 implementos e máquinas são utilizados ou, ainda, onde o pisoteio de animais é intenso.

No pousio, apesar dos valores elevados de densidade que refletem a compactação do solo, verifica-se a presença de vegetação, este fato pode ser atribuído, segundo Rosolem *et al.* (2002), a espécies de plantas que apesar da compactação do solo, conseguem desenvolver raízes em função de características intrínsecas de cada espécie.

Grable e Siemer (1968 *apud* LEÃO; SILVA, 2004) citam que para restringir o crescimento das raízes a porosidade de aeração mínima deve ser de 10% e quanto a resistência à penetração, Taylor *et al.* (1966, *apud* LEÃO; SILVA, 2004) definem um valor acima de 2,0 Mpa para inibir o crescimento do sistema radicular. Portanto, na falta de dados para comparação, é importante a realização de novos estudos para esses atributos físicos.

Sousa (2009), estudando as mesmas áreas desse trabalho, com 7 anos de pousio, observou que nos manejos de pousio e sobrepastejo a média da porosidade total variou de 37 a 48%, apesar de não ter diferido estatisticamente, os valores foram maior no pousio. Ainda que a porosidade total tenha reduzido nesse trabalho (Tabela 3), a diferença estatística

significativa entre os manejos estudados pode estar relacionada ao desenvolvimento de vegetação e à diminuição do pisoteio de animais na área de pousio, visto que a área está livre da circulação de animais por 14 anos, apontando melhoria no manejo de pousio.

Os valores de densidade de partículas, não diferiram estatisticamente entre os manejos (Tabela 3), apresentando média em torno de $2,5 \text{ g cm}^{-3}$, estando de acordo com os valores indicados por Ferreira (2010) que relata valores que variam de $2,6$ a $2,7 \text{ g cm}^{-3}$, para maior parte dos solos minerais, refletindo a presença dominante de quartzo, com densidade específica igual a $2,65$, o que eleva o valor da densidade das partículas.

Assim, como a matéria orgânica leva ao baixo valor da densidade de partícula, há indicativo de pequena quantidade de matéria orgânica do solo tanto no pousio como no sobrepastejo. Ferreira (2010) relata que a matéria orgânica, por possuir massa específica em torno de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, proporciona redução da densidade de partículas. O valor pode ser modificado pelo manejo do solo ao longo do tempo, caso haja alteração significativa no teor de matéria orgânica. Bicalho (2011) também descreve que a densidade de partícula, por ser um atributo estático, necessitando de mais tempo para que ocorram mudanças perceptíveis.

Quanto ao grau de flocculação da argila, os maiores valores foram verificados para o manejo de pousio em relação ao sobrepastejo, diferindo estatisticamente (Tabela 3). O maior grau de flocculação da argila no pousio pode estar atrelado ao fato de possuir alto teor de cálcio, considerado agente flocculante, unindo as partículas do solo e também ao baixo teor de sódio no horizonte superficial, o qual não agiu como agente dispersivo.

Sousa (2009) encontrou nas mesmas áreas valores médios do grau de flocculação 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 7 anos de pousio, com esse estudo de 14 anos de pousio, observa-se que os valores da porosidade total e do grau de flocculação diminuíram com o tempo nos dois manejos, que repercutiu para o aumento da densidade do solo.

6.2 Atributos químicos

A análise de variância apresentada na Tabela 4 revelou efeito significativo isolado do fator “áreas” sobre os valores de pH, Al, Mg, Na, K, SB, CTC, V%, PST e CE do solo.

Para o fator “manejos” foi significativa para todas as variáveis, exceto teor de V%. Foi também observada interação áreas x manejos para o atributo condutividade elétrica (CE).

O valor médio de pH foi maior para o manejo de pousio e as áreas 2 e 3 com pH igual a 6,00 diferiram da área 1 em que foi igual a 5,37, e estas não diferiram das áreas 4 e 5, com pH de 5,5 e 5,71, respectivamente (Tabela 4).

A faixa de pH permite classifica-lo com acidez média a baixa, e próxima ao pH ideal para o desenvolvimento das plantas que varia de 5,5 a 6,5 (UFC, 1993). O maior valor de pH para o pousio está relacionado aos maiores teores de cátions como Ca^{2+} e Mg^{2+} , pois essas bases elevam o pH do solo. Analisando as constatações de Sousa (2009) com os desse trabalho, observa-se que ocorreu pequeno aumento no valor do pH do solo no manejo de pousio decorrente ao aumento do teor de bases.

Franchini *et al.* (1999) e Pavinato e Rosolem (2008) observaram elevações de pH com a adição de resíduos vegetais, decorrente da complexação dos H^+ e Al^{3+} livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e também devido a adição Ca, Mg e K pelos resíduos vegetais, o que reduziria a acidez potencial.

Quanto ao teor de Al^{3+} no solo, observa-se menor valor no manejo de pousio (0,21 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), não diferindo entre as áreas, em que o valor de Al^{3+} ficou no intervalo de 0,20 a 0,32 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (Tabela 4). Segundo UFC (1993) esses teores são baixos, pois se enquadram entre 0 e 0,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Os baixos valores de Al^{3+} se relacionam com o baixo grau de intemperismo desses solos que foram pouco lixiviados e, assim, não passam por intensos processos de acidificação e favorecem a permanência de bases como o Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Com relação ao H^+ , esse diferiu estatisticamente entre os manejos. O maior valor foi observado no pousio comparado ao verificado no sobrepastejo, não ocorrendo diferença estatística entre as áreas de estudo que variou de 2,57 a 3,58 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (Tabela 4). Como o manejo de pousio possui maior quantidade de carbono orgânico (Tabela 5), conseqüentemente maior teor de matéria orgânica, então a liberação de H^+ pode ter resultado da dissociação dos grupos carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica (VELOSO *et al.*, 1992).

Quanto ao teor de Ca^{2+} e o Mg^{2+} no solo, o manejo de pousio apresentou valores mais elevados. Nas áreas os valores variaram de 1,6 a 3,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e 0,77 a 2,00 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para Ca^{2+} e o Mg^{2+} respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para atributos químicos do solo nas áreas de pousio e sobrepastejo em um núcleo de desertificação, Irauçuba – CE, 2014.

Fonte de variação	pH	H + Al	H	Al	Ca	Mg	Na	K
	..... Valor F.....							
Área (A)	3,67*	1,08 ^{ns}	1,23 ^{ns}	3,00*	2,38 ^{ns}	3,07*	5,32**	8,50**
Manejo (B)	6,42*	9,44**	11,24**	4,59*	19,66**	6,57*	7,86**	32,46**
Interação A x B	1,22 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1,72 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,90 ^{ns}	1,26 ^{ns}
CV (%)	7,35	35,00	36,77	36,12	53,43	58,45	80,76	32,02
Manejos	.....cmol _c kg ⁻¹							
Sobrepastejo	5,55 b	2,59 b	2,31 b	0,27 b	1,39 b	1,17 b	0,19 a	0,22 b
Pousio	5,88 a	3,65 a	3,44 a	0,21 a	3,05 a	1,90 a	0,09 b	0,40 a
Áreas	.....cmol _c kg ⁻¹							
1	5,37 b	2,90 a	2,58 a	0,32 a	1,95 a	1,76 a	0,11 b	0,21 c
2	6,00 a	2,77 a	2,57 a	0,20 a	1,62 a	0,77 a	0,08 b	0,25 bc
3	6,00 a	3,07 a	2,87 a	0,20 a	2,98 a	1,98 a	0,14 ab	0,38 ab
4	5,50 ab	3,05 a	2,77 a	0,27 a	1,70 a	1,14 a	0,06 b	0,25 bc
5	5,71 ab	3,81 a	3,58 a	0,22 a	2,86 a	2,03 a	0,30 a	0,45 a

Continua... Tabela 4 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para atributos químicos do solo nas áreas de pousio e sobrepastejo em um núcleo de desertificação, Irauçuba – CE, 2014.

Fonte de variação	SB	CTC	V	PST	CE
	..... Valor F.....				
Área (A)	3,13*	3,42*	3,37*	2,95*	6,63**
Manejo (B)	13,62**	19,80**	3,54 ^{ns}	22,18**	12,06**
Interação A x B	1,09 ^{ns}	0,85 ^{ns}	2,03 ^{ns}	1,56 ^{ns}	2,92*
CV (%)	50,3	34,25	19,57	66,39	57,74
Manejos	.....cmol _c kg ⁻¹.....		.....%.....		dS m ⁻¹
Sobrepastejo	2,98 b	5,57 b	51,12 a	3,06 a	-
Pousio	5,45 a	9,11 a	57,45 a	1,03 b	-
Áreas	.....cmol _c kg ⁻¹.....		.....%.....		dS m ⁻¹
1	4,05 a	6,95 ab	60,13 a	1,93 ab	-
2	2,72 a	5,50 b	48,14 a	1,79 ab	-
3	5,49 a	8,56 ab	58,97 a	1,94 ab	-
4	3,17 a	6,22 ab	45,49 a	1,16 b	-
5	5,66 a	9,47 a	58,70 a	3,41 a	-

^{ns} não significativo. ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

H: hidrogênio, Al: alumínio, Ca: cálcio, Mg: magnésio, K: potássio. SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca de cátions, V: saturação por base, PST: percentagem de saturação por sódio, CE: condutividade elétrica.

A presença de resíduos vegetal em decomposição na superfície do solo pode ter contribuído para o acréscimo desses nutrientes. Segundo UFC (1993), o teor de Ca^{2+} é baixo para sobrepastejo e médio para o pousio, pois está entre 0 – 1,5 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e 1,6 – 4,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, respectivamente. Já o teor de Mg^{2+} é alto ($> 1,0 \text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$).

Outro fato observado é que os valores de Ca^{2+} nos dois manejos foram maiores do que os de Mg^{2+} . Este resultado pode ser atribuído à série de retenção de cátions que determina que o Ca^{2+} é mais fortemente retido na matriz coloidal do solo do que o Mg^{2+} (QUAGGIO, 2000), além do material de origem (gnaisse) que apresenta mais Ca^{2+} do que Mg^{2+} em sua composição.

Os baixos teores de Na^+ encontrados nos dois manejos evidencia a pouca atuação deste elemento, com menor valor para o manejo do pousio, o que é considerado bom, pois sua presença em excesso causa a dispersão da argila, dificultando a estruturação do solo. Conseqüentemente, a percentagem de saturação por sódio (PST) também foi menor para o pousio (Tabela 4), indicando que os manejos e as áreas não apresentam caráter solódico, atributo que ocorre em muitos Planossolos. Quanto a maior quantidade de Na^+ no sobrepastejo, essa foi pequena e atribuída à proximidade do horizonte B ocasionado pela perda de solo superficial devido à erosão. Dentre as áreas, a 5 é a que apresenta maiores valores de sódio, com 0,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e PST igual a 3,41%, enquanto as outras áreas apresentaram valores entre 0,06 a 0,14 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e 1,16 a 1,94 para Na^+ e PST, respectivamente (Tabela 4).

Os teores de K^+ foram maiores no manejo de pousio, comparado com o sobrepastejo. Como não ocorreu interação estatística entre os fatores manejo e área, a área 5 se destacou das demais com teor médio de 0,45 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, enquanto as outras áreas apresentaram teores variando de 0,21 a 0,38 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (Tabela 4). Mekuria *et al.* (2007) relataram que a área livre de pastejo apresentou maior valor de K e que este teor aumenta ao longo do tempo; porém, há certa dependência da cobertura vegetal que aumenta com a adesão da prática.

No caso deste estudo, a fonte de cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ também pode ser oriunda das rochas, pois segundo Souza Filho *et al.* (1998), a geologia da Folha Irauçuba é constituída por rochas do pré- cambriano e depósitos coluviais, formada por rochas

metamórficas de alto grau, predominando gnaisses migmatizados, metabasitos, xistos, quartzitos e metacarbonatos.

Essas rochas ao serem intemperizadas liberam nutrientes para as plantas, o que pode ocorrer apesar das condições climáticas como calor e umidade favorecerem pouco o intemperismo, que se processa lentamente devido ao déficit hídrico (OLIVEIRA, 2011). Outra fonte de nutrientes para as plantas é a matéria orgânica, sendo considerada importante para a fertilidade dos solos de regiões tropicais (TIESSSEN; CUEVAS; CHACON, 1994), a qual tem sua decomposição favorecida pelas condições climáticas da região (SALCEDO; TIESSSEN; SAMPAIO, 1997).

A soma de bases do solo foi maior no manejo de pousio com $5,45 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e os elementos com maiores participações foram o Ca^{2+} e Mg^{2+} por apresentarem valores mais elevados em relação ao Na^+ e K^+ (Tabela 4). A saturação por base não diferiu entre os manejos, considerada como eutrófica por ser maior que 50%. As médias não diferiram para as áreas 1, 2, 3, 4 e 5 nos dois atributos, com a soma de base variando de 3,0 a $5,66 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ e a saturação por base de 48 a 60% (Tabela 4).

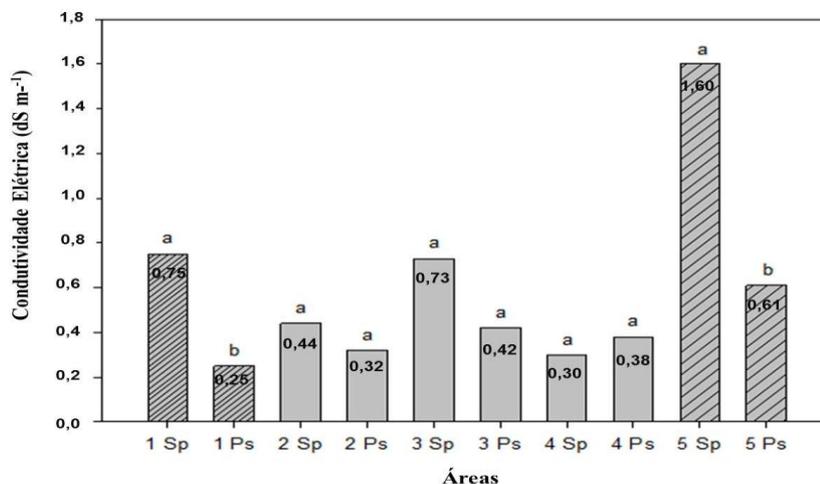
A capacidade de troca de cátions (CTC) do solo também foi melhor no manejo de pousio. Em solo degradado da Etiópia, Mekuria *et al.* (2007) também encontraram maior valor de CTC para as áreas com 5 e 10 anos de pousio, o que esteve relacionado com o teor de matéria orgânica.

Os valores de CE apresentaram diferenças significativas para o sistema de manejo nas áreas 1 e 5 (Figura 6), com menores valores apresentados para o pousio. Nenhuma área ou manejo apresentou caráter salino na superfície do solo sob as atuais condições de manejo.

Sousa (2009) encontrou resultados semelhantes para os valores de pH e Na^+ para sobrepastejo, Na^+ , K^+ e PST para pousio e menor pH para pousio. Quanto aos valores das variáveis K^+ e PST foram maiores no sobrepastejo e a CTC foi também maior tanto para o pousio como para o sobrepastejo. Já a CE foi menor para os dois manejos e a V% foi menor para o pousio e maior para sobrepastejo.

Assim, observa-se que ao longo do tempo o K^+ , a CTC e V% apresentaram redução nos valores, principalmente na área de sobrepastejo, indicando perda de fertilidade do solo.

Figura 6 – Condutividade elétrica do solo nas áreas de pousio e sobrepastejo em um núcleo de desertificação, Irauçuba – CE, 2014.



Letras diferentes dentro de cada área diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Sp: Sobrepastejo, Ps: Pousio.

6.3 Carbono orgânico total (COT) e fracionamento físico do COT

A análise de variância apresentada na Tabela 5 revelou efeito significativo isolado do fator “áreas” sobre os valores de COT, C-Lab e COAM do solo. Para o fator “manejos” foi significativa para todas as variáveis. Foi também observada que não houve interação áreas x manejos para nenhuma das variáveis (Tabela 5).

O manejo de pousio apresentou maior teor de carbono orgânico total (COT) comparado ao manejo de sobrepastejo (Tabela 5). O maior valor de COT encontrado na área de pousio deve-se ao maior aporte de material orgânico ao solo, proporcionado pela cobertura vegetal que surgiu de forma espontânea ao longo do tempo. O contrário ocorre na área de sobrepastejo, na qual a pastagem foi exaurida, ocasionando a exposição do solo e promovendo a erosão e a compactação pelo pisoteio dos animais, refletindo os efeitos ocasionados pela falta da proteção vegetal.

Nicoloso (2005) encontrou valor de aproximadamente 40 kg m⁻³ de carbono orgânico total em áreas de pastagens de inverno sem pastoreio, pastoreio a cada 28 dias e pastoreio a cada 14 dias, explicando que se deve a elevada presença de raízes em superfície e liberação de exsudatos e ao processo de decomposição dos resíduos vegetais depositados sobre o solo convertendo-os em carbono orgânico.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para COT, C-Lab, C-NLab, COP e COAM do solo nas áreas de pousio e sobrepastejo em um núcleo de desertificação, Irauçuba – CE, 2014.

Fonte de variação	COT	C-Lab	C-NLab	COP	COAM
..... Valor F.....					
Área (A)	3,16 [*]	4,52 ^{**}	1,74 ^{ns}	2,65 ^{ns}	3,05 [*]
Manejo (B)	11,86 ^{**}	9,04 ^{**}	11,36 ^{**}	4,39 [*]	12,87 ^{**}
Interação A x B	0,34 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,33 ^{ns}
CV (%)	66,03	70,10	71,7	95,94	64,42
Manejos	..... g kg ⁻¹				
Sobrepastejo	9,84 b	4,73 b	5,1 b	1,27 b	8,57 b
Pousio	20,90 a	9,47 a	11,43 a	2,45 a	18,44 a
Áreas	..... g kg ⁻¹				
1	13,23 ab	5,32 b	7,90 a	1,49 a	11,73 ab
2	10,04 b	4,27 b	5,77 a	1,22 a	8,82 b
3	14,17 ab	5,69 b	8,48 a	1,75 a	12,41 ab
4	12,96 ab	6,59 ab	6,37 a	1,19 a	11,77 ab
5	26,45 a	13,63 a	12,81 a	3,66 a	22,79 a

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

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

COT: carbono orgânico total, C-Lab: carbono na fração lábil, C-NLab: carbono na fração não lábil, COP: carbono orgânico particulado, COAM: carbono orgânico associado aos minerais.

Salcedo e Sampaio (2008) descrevem que os teores médios de COT na região semiárida no horizonte Ap para Planossolos é $7,4 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto para Neossolos Litólicos é $10,4 \text{ g kg}^{-1}$. Assim, os teores de COT encontrados nos dois manejos e para todas as áreas estão acima do relatado, principalmente no manejo de pousio, mostrando o potencial dessa prática para o aumento do COT no solo.

Oliveira *et al.* (2003) relatam que o teor de COT no solo inferior a 10 g kg^{-1} é baixo e condiz com as condições de região semiárida. Nesse estudo o valor de COT para o manejo do pousio foi maior que 10 g kg^{-1} e maior que no sobrepastejo (Tabela 5), desta forma, a quantidade de material orgânico associado ao pousio vem proporcionando melhorias nas condições físicas e químicas do solo.

Por meio do fracionamento físico do carbono orgânico obtêm-se frações mais sensíveis (carbono orgânico particulado - COP) e frações mais estáveis (carbono orgânico associado aos minerais - COAM) às mudanças decorrentes do manejo. Estas frações são equivalentes ao carbono lábil (C-Lab) e carbono não lábil (C-NLab).

Quanto ao carbono lábil (C-Lab) o maior valor foi encontrado no manejo de pousio com $9,47 \text{ g kg}^{-1}$ e o menor valor no manejo de sobrepastejo com $4,73 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 5). O compartimento lábil nesse trabalho representa 48% do COT na área de sobrepastejo e 45,3% na área de pousio, esses valores podem ser atribuídos às condições climáticas da região do semiárido, visto que essa fração é de rápida decomposição.

Blair *et al.* (1995) afirmam que onde ocorre adição constante de material orgânico, o teor de carbono lábil tende a ser maior em relação a frações não lábeis. Assim, pelo resultado obtido nesse trabalho observa-se o contrário, o C-Lab apresentou menores quantidades em relação ao C-NLab, isto pode ser devido às condições climáticas com altas temperaturas e baixos índices de pluviosidade das regiões semiáridas, que repercute na baixa produção de material vegetal e, portanto, pouco material é adicionado ao solo ao longo do tempo.

O carbono não lábil (C-NLab) acompanhou comportamento semelhante ao do C-Lab, com maior valor para o manejo de pousio em relação ao de sobrepastejo. Porém, as áreas não diferiram entre si, com valores variando de $5,7$ a $12,8 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 5).

Ao comparar os manejos quanto ao teor de COP, esse apresentou menor fração no sobrepastejo em comparação ao de pousio, com $1,27$ e $2,45 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente. O mesmo

foi verificado para o teor de COAM com 8,57 e 18,44 g kg⁻¹. A fração do COAM no COT, portanto, é maior que a do COP (12,9% e 11,72%), com 87,1% e 88,23% para os manejos de sobrepastejo e pousio respectivamente.

O COP em regiões frias e semiáridas geralmente representa de 20 a 50% do COT (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). Já Roscoe e Machado (2002) relatam que o COP varia de 10% - 25% do COT em solos de região de clima temperado e tende a ter valor menor do que 2 a 25% nos trópicos. Como podem ser observados, os valores de COP neste trabalho estão abaixo quando comparado com os limites propostos por Cambardella e Elliot; porém, o teor no manejo de pousio corrobora com os valores indicados por Roscoe e Machado, o que pode ser atribuído ao clima quente e seco. Com isso infere-se que, apesar do baixo teor de COP, este pode ser uma fonte de nutrientes.

O menor teor de COP do solo pode ser em decorrência dessa fração ser mais ativa e de maior labilidade, mais propensa à oxidação por se encontrar em maior quantidade na superfície do solo e também por ser mais acessível para a biomassa microbiana (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1994).

Como o COP está associado à fração areia, Feller e Beare (2007) descrevem que isso pode ser o motivo do menor teor dessa fração, pois o material aderido à superfície da partícula de areia está sujeito à decomposição e ação dos microrganismos. Roscoe e Machado (2002) citam que o COP tem uma ciclagem mais rápida do que o carbono associado às frações silte e argila.

Outros fatores que podem explicar a potencialização da mineralização do COP é a escassez de chuva e altas temperaturas associadas à baixa adição de resíduos culturais, enquanto o COAM tem maior preservação dos agentes decompositores. Deste modo, a matéria orgânica de fácil mineralização é reduzida pela menor quantidade de COP (SOUSA, 2013). He *et al.* (2012) informam que o menor valor no teor de COP teve mais influência da ação climática, enquanto o COAM apresentou maior valor.

Assim, diante do que foi exposto, é de se esperar maior quantidade de COAM em relação ao COP, o que de fato aconteceu nesse trabalho como se observa pelos resultados (Tabela 5), salientando a menor vulnerabilidade do COAM às práticas de manejo, não demonstrando ser tão disponível quanto à fração particulada. Segundo Bayer *et al.* (2004), no que concerne à formação e decomposição do COAM, essa fração apresenta ciclagem mais

lenta, sendo necessário maior tempo para que a alteração dos sistemas de manejo repercuta no estoque dessa fração.

A fração associada aos minerais foi pouco alterada, representando mais de 87% de carbono nos dois sistemas de manejo, isso é relevante devido à importância na manutenção do carbono no solo. Isso mostra que o período de 14 anos de pousio com exclusão do pastoreio de animais domésticos permitiu verificar o efeito da prática de manejo na reserva dessa fração, que pode ser observado devido ao maior período de tempo. Janzen *et al.* (1992) e Bremer *et al.* (1995) *apud* Zanatta (2006) mencionam que as alterações na fração lábil em função da mudança de manejo são observadas em curtos períodos de tempo e a fração mais estável em longo prazo.

Portanto, a menor proporção de COP em detrimento ao COAM determina a menor labilidade de carbono nos dois sistemas de manejo. Na área de pousio a maior quantidade de COAM pode ser devido à transformação do COP ao longo do tempo e/ou redução no aporte de material orgânico sobre o solo. Sousa (2009) encontrou valores de COT, C-Lab e C-NLab variando de 15 - 18,7 g kg⁻¹, 7,5 - 9,2 g kg⁻¹ e 7,6 - 9,6 g kg⁻¹ nas áreas de pousio e 11,3 - 14,8 g kg⁻¹, 4,8 - 6,7 g kg⁻¹ e 6,5 - 9,1 nas áreas de sobrepastejo, respectivamente, com maiores valores nas áreas de pousio.

Comparando os resultados em relação a Sousa (2009), o COT e o C-NLab aumentaram na área de pousio e reduziram na área de sobrepastejo, enquanto o C-Lab foi semelhante para os dois manejos. Isso indica que na área de pousio a presença da vegetação proporcionou o aumento do COT e a maior proporção desse carbono encontra-se na forma mais estabilizada, portanto, mais protegida dos agentes decompositores, atuando na estruturação do solo, melhorando a agregação, porém, a liberação de nutrientes por parte dessa fração é restringida.

6.4 Índice de manejo do carbono

Como reflexo do efeito dos manejos do solo no índice de compartimento do carbono (ICC) e no índice de labilidade (IL), os maiores valores de índice de manejo do carbono (IMC) foram observados no manejo de pousio em relação ao de sobrepastejo (Tabela 6).

Tabela 6 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) para ICC, L, IL e IMC do solo nas áreas de pousio e sobrepastejo em um núcleo de desertificação, Irauçuba – CE, 2014.

Fonte de variação	ICC	L	IL	IMC
	..... Valor F.....			
Área (A)	3,16 [*]	0,82 ^{ns}	0,82 ^{ns}	2,78 [*]
Manejo (B)	11,86 ^{**}	1,28 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,88 ^{ns}
Interação A x B	0,34 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,74 ^{ns}
CV (%)	66,04	116,45	116,45	86,87
Manejos		-		%
Sobrepastejo	0,49 b	1,41 a	1,46 a	66,14 a
Pousio	1,05 a	0,93 a	0,96 a	96,88 a
Áreas		-		%
1	0,66 ab	0,69 a	0,72 a	47,53 b
2	0,50 b	1,81 a	1,87 a	73,42 ab
3	0,71 ab	0,92 a	0,96 a	55,61 ab
4	0,64 ab	1,36 a	1,41 a	78,29 ab
5	1,32 a	1,06 a	1,10 a	152,71 a

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

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. ICC: índice de compartimento do carbono, L: labilidade, IL: índice de labilidade, IMC: índice de manejo do carbono.

O valor do índice de compartimento do carbono (ICC) indica que o sobrepastejo apresentou maior redução nos teores de carbono orgânico, já no de pousio, onde a ocorrência de material orgânico foi maior e não teve presença de animais, o teor de carbono foi mais elevado.

Os manejos não diferiram estatisticamente entre si para labilidade (L) e o índice de labilidade (IL). As áreas também não diferiram entre si com o L e IL variando de 0,69 a 1,8 e 0,72 a 1,87, respectivamente. Zanatta (2006) relata que a maior proporção de carbono lábil repercute no aumento da labilidade do carbono. Neste trabalho, o fato da maior proporção ser de COAM pode ser a causa do baixo valor de IMC.

Os resultados mostram (Tabela 6) que, apesar do pousio apresentar o IMC de 96,88, esse não diferiu estatisticamente do sobrepastejo, com o IMC igual a 66,14%, entretanto, indica que o manejo que proporciona maior aporte de material ao solo tem maior potencial para favorecer a melhoria no solo. Segundo Blair *et al.* (1995), o valor de IMC menor do que 100, indica impacto negativo das práticas de manejo sobre os teores de matéria orgânica ou qualidade do sistema e valores igual ou acima de 100 indica impacto positivo, mostrando que o manejo adotado está contribuindo com a melhoria do solo.

Apesar do IMC está abaixo de 100 para os dois manejos, está claro que o manejo de pousio está caminhando e bem próximo dos valores ideais, mostrando a capacidade desse sistema de manejo em melhorar os atributos do solo.

Dentre as áreas de estudo, a área 5 destacou-se das demais (Tabela 6), com o IMC acima de 100%. Isso pode ser atribuído ao fato dessa área apresentar maior ICC (1,32), pois quando comparada às outras áreas, principalmente a área 2 (ICC=0,5), essa apresentou maior valor de L e IL (1,81 e 1,87), enquanto a área 5 apresentou 1,06 e 1,1 respectivamente, não havendo diferença estatística entre as médias.

Apesar da maioria das áreas estudadas não apresentarem valores satisfatórios, fica evidente que o sistema de pousio com o IMC próximo a 100 é capaz de restabelecer e proporcionar a sustentabilidade do sistema devido o aporte do carbono. Com um período maior de tempo de avaliação e um manejo que favoreça maior aporte de material orgânico ao solo, no futuro, os resultados podem vir a serem mais satisfatórios.

Sousa (2009) encontrou valores de IMC variando de 29,5 a 50% nas áreas de sobrepastejo e 58,5 a 72,39% nas áreas de pousio, detectando o grau de degradação dessas

áreas. Comparando-se os dados deste trabalho (após 14 anos de pousio) com os obtidos por Souza (2009), realizado nas mesmas áreas e manejos com 7 anos de pousio, observa-se que houve aumento no IMC; porém, não foi suficiente para reverter a degradação do solo, com exceção da área 5 que apresentou resultado favorável.

7 CONCLUSÃO

O manejo de pousio apresentou melhorias em atributos físicos e químicos do solo quando avaliado após 14 anos de exclusão dos animais, mas quando comparada ao trabalho realizado na mesma área com 7 anos de pousio, evidência que as áreas ainda estão em processo de degradação. Portanto, é importante avaliar as áreas ao longo do tempo para verificar se o manejo oferece resultados satisfatórios e para tomadas de decisões visando à melhoria do ambiente.

O manejo de pousio proporcionou aumento do teor de carbono orgânico, bem como maior estabilidade, pois, a fração com maior proporção foi o carbono orgânico associado aos minerais (COAM).

REFERÊNCIAS

- 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.
- ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; MELO, R. F. Mudanças climáticas e Desertificação no semiárido brasileiro. *In: Mudanças climáticas e Desertificação no semiárido brasileiro*. Embrapa, 2009, 295 p.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Projeto Dom Helder Camara, 2013, 200 p.
- BARROS, K. O. *et al.* A pesquisa em desertificação no Brasil: cenários e perspectivas. **Geografia Ensino and Pesquisa**, v. 12, p. 46-52, 2008.
- BAYER, C. *et al.* Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 677-683, 2004.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 3 ed. São Paulo: Ícone, 1990, 355 p.
- BICALHO, I. M. Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 7, p. 1-9, 2011.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p.1459-1466, 1995.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898 p.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, Degaspar, 1997, 132 p.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society American Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Carbon and nitrogen dynamics soil organic matter fraction from cultivated grassland soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 58, p. 123-130, 1994.

CARVALHO, C. **Desertificação já atinge uma área de 230 mil km² no Nordeste.** Disponível em: < <http://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/revista-amanha/desertificacao-ja-atinge-uma-area-de-230-mil-km-no-nordeste-8969806>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

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.

CERRI, C. E. P. *et al.* Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 83-99, 2007.

CHAN, K. Y.; HEENAN, D. P.; OATES, A. Soil fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. **Soil and Tillage Research**, v. 63, p. 133-139, 2002.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, v. 52, p. 345-353, 2001.

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

DAILY, G. C. Restoring Value to the World's Degraded Lands. **Science**, v. 269, p. 350-354, 1995.

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

DICK, D. P. *et al.* Química da matéria orgânica. *In*: **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, 695 p.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro, 2011, 230 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. amp. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

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

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v. 6, p. 36-41, 2008.

- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. **In: Física do Solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, 298 p.
- FRANCHINI, J. C. *et al.* Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2267-2276, 1999.
- GALINDO, I. C. L. *et al.* Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 1283-1296, 2008.
- GIONGO, V. *et al.* Estoque de carbono no sistema solo em uma área referência do semiárido. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO**, 33. **Anais**. Uberlândia, 2010.
- GIONGO, V. Balanço de carbono no semiárido brasileiro: Perspectivas e desafios. **In: Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA-PB, 2011.
- GISLADOTTIR, G.; STOCKING, M. Land degradation control and its global environmental benefits. **Land Degradation and Development**, v. 16, p. 99–112, 2005.
- HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, p. 121-145, 2005.
- HE, N. *et al.* Warming and increased precipitation individually influence soil carbon sequestration of Inner Mongolian grasslands, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 158, p. 184-191, 2012.
- HELLDÉN, U.; TOTTRUP, C. Regional desertification: A global synthesis. **Global and Planetary Change**, v. 64, p. 169-176, 2008.
- 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.
- IBÁÑEZ, J.; MARTÍNEZ, J.; SCHNABEL, S. Desertification due to overgrazing in a dynamic commercial livestock–grass–soil system. **Ecological modeling**, v. 205, p. 277-288, 2007.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ-IPECE. **Perfil básico municipal, Irauçuba**. Fortaleza, 2012.
- KASSAS, M. Desertification: a general review. **Journal of Arid Environments**, v. 30, p. 112-128, 1995).
- LAL, R. Farming carbon. **Soil and Tillage Research**, v. 96, p. 1–5, 2007.

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

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P. A simplified excel[®] algorithm for estimating the least limiting water range of soils. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 649-654, 2004.

LEVANTAMENTO DE RECONHECIMENTO DE MEDIA INTENSIDADE DOS SOLOS - Mesorregião do Sul Cearense / Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Fortaleza, 2012, 280 p.

LUSTOSA, J. P. G. **Caracterização morfológica, micromorfológica e mineralógica de três toposseqüências no município de Irauçuba-CE e suas relações com os processos de desertificação**. 2004. 161 f. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP.

MANZANO, M. G.; NÁVAR, J. Processes of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan thornscrub (matorral) in north-eastern Mexico. **Journal of Arid Environments**, v. 44, p. 1-17, 2000.

MARTINS, C. M. *et al.* Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1883-1890, 2010.

MATAIX-SOLERA, J. *et al.* Fire effects on soil aggregation: A review. **Earth-Science Reviews**, v. 109, p. 44-60, 2011.

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

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV. 2005. 107p.

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

NICOLOSO, R. S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2005. 150 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria-RS.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2011, 592 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.

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

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

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

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.

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.

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

REICHERT, J. M. *et al.* Mecânica do solo. *In: Física do Solo*. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, 298 p.

REGO, T. UNCCD: **A inação custa caro**. Disponível em: <<http://www.oestadoce.com.br/noticia/unccd-inacao-custa-caro>>. Acesso em: 10 set. 2013.

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

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

- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2002, 86 p.
- ROSSI, C. Q. *et al.* Frações orgânicas e índice de manejo de carbon do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 233-241, 2012.
- SÁ, I. B. *et al.* **Desertificação no Semiárido brasileiro**. In: Conferência internacional: clima, sustentabilidade e desenvolvimento em regiões semiáridas (ICID+18), 2., 2010, Fortaleza.
- SALCEDO, I. H.; TIESSEN, H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrient availability in soil samples from shifting cultivation sites in the semi-arid Caatinga of NE Brazil. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v. 65, p. 177-186, 1997.
- SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no Bioma Caatinga. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008.
- SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Análise da degradação ambiental no núcleo de desertificação de Irauçuba. In: **Litoral e sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006, 408 p.
- SANTOS, J. M. Estratégias de convivência para a conservação dos recursos naturais e mitigação dos efeitos da desertificação no semiárido. In: **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA-PB, 2011. 209 p.
- 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.
- SILVA, E. F.S. *et al.* Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1321-1331, 2011.
- SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008.
- SIX, J. *et al.* Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of Soils. **Plant and Soil**, v. 241, p. 155-176, 2002.
- SOUSA, F. P. **Degradação de solos por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação: o caso de Irauçuba, Ceará**. 2009. 89 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- SOUSA, F. P. *et al.* Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing Desertification. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 148, p. 11-21, 2012.

SOUSA, J. M. S. **Comportamento de cultivares de mamona nas condições edafoclimáticas do semiárido**. 2013. 125 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.

SOUZA, B. I. Uso da vegetação e solos em áreas susceptíveis à desertificação na Paraíba/Brasil. **Revista Geographia**, vol. 13, p. 77-105, 2011.

SOUZA FILHO, O. A. **Geologia e mapa de previsão de ocorrência de água subterrânea Folha SA.24-Y-D-V – Irauçuba, Ceará**. 1998. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto-MG.

TATZBER, M. *et al.* FTIR-spectroscopic characterization of humic acids and humin fractions obtained by advanced NaOH, Na₄P₂O₇, and Na₂CO₃ extraction procedures. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 170, p. 522–529, 2007.

TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, v. 371, p. 783-785, 1994.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. Solos e desertificação no sertão paraibano. **Cadernos do Logepa**, João Pessoa, v. 6, p. 101-114, 2011.

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**, 1993, 247 p.

VEIGA, J. E. **O desenvolvimento Agrícola: uma visão histórica**. 2. ed. – São Paulo: Editora: Edusp, 2007, 236 p.

VELOSO, C. A. C. *et al.* Efeitos de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia agrícola**, v. 49, p. 123-128, 1992.

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

ZANATTA, J. A. **Estoque e labilidade do carbon em frações da matéria orgânica de um argissolo afetados por sistemas de manejo do solo**. 2006. 113 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RG.