



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE

GILDIVAN DOS SANTOS SILVA

ANÁLISE FÍSICA DO SOLO EM ÁREAS DEGRADADAS SOB CONDIÇÕES DE
POUSIO E ADUBAÇÃO ORGÂNICA NO SEMIÁRIDO CEARENSE

FORTALEZA

2018

GILDIVAN DOS SANTOS SILVA

ANÁLISE FÍSICA DO SOLO EM ÁREAS DEGRADADAS SOB CONDIÇÕES DE
POUSIO E ADUBAÇÃO ORGÂNICA NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof^a. Dra. Marta Celina Linhares Sales.

Coorientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S58a

Silva, Gildivan dos Santos.

Análise física do solo em áreas degradadas sob condições de pousio e adubação orgânica no semiárido cearense / Gildivan dos Santos Silva. – 2018.

94 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2018.

Orientação: Profa. Dra. Marta Celina Linhares Sales.

1. Caatinga. 2. conservação. 3. adubo orgânico. 4. qualidade física do solo. I. Título.

CDD 333.7

GILDIVAN DOS SANTOS SILVA

ANÁLISE FÍSICA DO SOLO EM ÁREAS DEGRADADAS SOB CONDIÇÕES DE
POUSIO E ADUBAÇÃO ORGÂNICA NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Recursos Hídricos.

Apresentado em: 17 / 09 / 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Marta Celina Linhares Sales (Orientadora/Presidente)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Alcione Guimarães Freire (Externo ao Programa)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Gerardo Beserra de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Henrique Antunes de Souza (Externo à Instituição)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA/ CPAMN)

A Deus.

Aos meus familiares, professores e verdadeiros
amigos.

AGRADECIMENTOS

O meu alicerce está fincado em Deus e a Ele devo tudo. Porto isso, agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora por me darem força e paciência durante todas as fases do meu Doutorado.

Aos meus pais, Francisco e Cícera (*in memorian*), pois mesmo não estando fisicamente para presenciar a minha vitória, tenho certeza de que estão torcendo por mim, esteja eles onde estiverem. Aos meus irmãos, Gildo, José e Gilvanilda, que nunca deixaram de acreditar no meu potencial. Aos meus avós maternos, Vicente e Expedita (*in memorian*) que, sempre ternos e compassivos, me ensinaram o valor da oração, respeito e dignidade. E aos meus avós paternos, Martinho e Maria Otília (*in memorian*), por serem os ramos de onde se originou meu pai. À minha namorada Joelma Pereira, pelo amor, carinho, paciência e palavras de fortalecimento, as quais me ajudaram a perseverar sem nunca desistir.

Agradeço também à Embrapa Caprinos e Ovinos, na pessoa do Dr. Henrique Antunes de Sousa e ao Francisco de Assis Rodrigues Sousa (vulgo “Negão”), por me cederem o espaço para a realização da pesquisa.

À Universidade Federal do Ceará, ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente e ao Departamento de Ciências do Solo que contribuíram para minha formação nesta instituição.

À professora Dra. Marta Celina Linhares Sales, por me acolher não só como orientadora, mas como aquela que entende o lado humano dos seus orientandos e procura ajudá-los naquilo que mais precisam, seja com assuntos de cunho profissional ou pessoal. E ao professor Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior, pela disposição em me co-orientar.

À professora Dra. Graça Oliveira e ao seu Esposo Eliomar, pela hospitalidade, e por contribuir na escrita e correções da minha Tese, bem como à Dona Ducarmo e família.

Aos amigos e colegas do programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas: Alcione Guimarães, Thales Pantaleão e Thiago Leite, por me fazerem sorrir e por me mostrarem o verdadeiro valor da amizade. Aos amigos Carlos Levi, Tiago Oliveira e Márcio Godofredo, por me ajudarem nas coletas e análises do solo.

Às pessoas que, além de amigas, fizeram um papel de família, me aconselhando e dando forças quando mais precisei: Juciane, Francisco Thiago, Sherly, Sílvia, Thales, Cosmo Márcio, Godofredo, Rennan, Marcelo, Hyder Oliveira, bem como aos demais amigos do grupo de oração Pentecostes. A todos, meus sinceros agradecimentos por tudo!!!

“Ter fé é assinar uma folha em branco e deixar que Deus nela escreva o que quiser.”

(Santo Agostinho)

RESUMO

O cenário atual de um ambiente em processo desertificação não é nada conveniente para a população que vive esta realidade de perto. Em Irauçuba, no sertão centro-norte do Estado do Ceará e na microrregião de Sobral, o problema de desertificação tem impactado cada vez mais de forma crítica na vida da população, principalmente na zona rural. Nesse contexto, são apresentados dois capítulos sobre o tema. O primeiro capítulo relata o cenário irauçubense de modo amplo, envolvendo as implicações da desertificação sobre os aspectos culturais, sociais, econômicos e ambientais. No segundo capítulo, o objetivo da pesquisa é avaliar a aplicação de adubos orgânicos sobre a qualidade física do solo por meio de indicadores, em área degradada, em processo de desertificação. Foram coletadas amostras com estrutura preservada e não preservada para a realização das seguintes determinações: infiltração, condutividade hidráulica, curva característica de água no solo (CCAS), índice S, permeabilidade do solo ao ar e carbono orgânico. No presente estudo, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições e oito tratamentos, sendo eles constituídos por: leguminosas, adubos orgânicos e cobertura morta, mais as testemunhas negativa (sem uso de fertilizante) e positiva (pousio). Para a análise estatística, a comparação de médias foi realizada por meio de contrastes ortogonais, pelo teste F a 1% de probabilidade. As áreas de pousio e dos tratamentos à base de insumos orgânicos proporcionaram melhoria da qualidade física do solo apenas no índice S, sendo que para as demais variáveis não se detectou nenhum efeito positivo sobre a geometria porosa do solo.

Palavras-chave: Caatinga. Conservação. Adubo orgânico. Qualidade física do solo.

ABSTRACT

The current scenario of an environment in the process of desertification is not very desirable for a population experiencing this situation directly. In Irauçuba, in the north-central sertão, and in the microregion of Sobral, both in the State of Ceará, the problem of desertification has had an increasingly critical effect on people's lives, especially in rural areas. As such, two chapters on this theme will be presented. The first chapter is a broad report on the situation in Irauçuba, including the implications of desertification on cultural, social, economic and environmental factors. In the second chapter, the aim of the research is to evaluate the application of organic fertilisers on the physical quality of the soil by means of indicators, in a degraded area in the process of desertification. Disturbed and undisturbed soil samples were collected to determine the following: infiltration, hydraulic conductivity, soil water characteristic curve (SWCC), S-index, air permeability and organic carbon. In the present study, a completely randomised design (CRD) was used, with three replications and eight treatments: legumes, organic fertilisers and mulch, plus a negative control (with no fertiliser) and a positive control (fallow). In the statistical analysis, the mean values were compared by F-test at 1% probability using orthogonal contrasts. The areas of fallow and the treatments based on simple organic input resulted in an improvement in the physical quality of the soil for the S-index only; for the other variables, no positive effect was detected on the pore geometry of the soil.

Keywords: Caatinga. Conservation. Organic fertiliser. Physical quality of the soil

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do Núcleo de Desertificação de Irauçuba/Centro Norte.....	21
Figura 2 - Mapa da localização da área onde se realizou a pesquisa.....	58
Figura 3 - Teste de infiltração usando o infiltrômetro de tensão em campo.....	62
Figura 4 - Amostras em saturação (A) antes de serem conduzidas ao funil de Haines (B).....	63
Figura 5 - Foto e representação esquemática do sistema de aquisição de dados.....	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitação na área experimental no período de fevereiro a julho de 2015.....	59
Gráfico 2 - Precipitação na área experimental no período de janeiro a julho de 2016.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físicas e químicas do solo da área experimental.....	60
Tabela 2 - Valores médios de carbono, nitrogênio, lignina, relação C/N e relação lignina/N dos insumos aplicados.....	66
Tabela 3 - Valores médios de nitrogênio (N) e carbono (C) de um Planossolo sob condições de adubação orgânica e pousio.....	67
Tabela 4 - Análise de variância do carbono orgânico de um Planossolos submetido a diferentes tipos de adubação orgânica e pousio.....	68
Tabela 5 - Avaliação do carbono orgânico do solo por contrastes ortogonais e seus respectivos efeitos reais analisados pelo teste F.....	69
Tabela 6 - Análise de variância da condutividade hidráulica de um Planossolos submetido a diferentes tipos de adubação orgânica e ao pousio.....	70
Tabela 7 - Avaliação da condutividade hidráulica do solo por contrastes ortogonais e seus respectivos efeitos reais analisados pelo teste F.....	71
Tabela 8 - Análise de variância da curva característica de água de um Planossolos submetido a diferentes tipos de adubação orgânica e ao pousio.....	73
Tabela 9 - Avaliação da curva característica de água no solo por contrastes ortogonais e seus respectivos efeitos reais analisados pelo teste F.....	73
Tabela 10 - Análise de variância do índice S em um Planossolo submetido a diferentes tipos de adubação orgânica e ao pousio.....	76
Tabela 11 - Avaliação do índice S por contrastes ortogonais e seus respectivos efeitos reais analisados pelo teste F.....	77
Tabela 12 - Análise de variância da permeabilidade do solo ar em um Planossolo submetido a diferentes tipos de adubação orgânica e ao pousio.....	79
Tabela 13 - Avaliação da permeabilidade do solo ao ar por contrastes ortogonais e seus respectivos efeitos reais analisados pelo teste F.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASD	Áreas Susceptíveis à Desertificação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas Rurais
SAF's	Sistemas Agroflorestais

SUMÁRIO

1	INTODUÇÃO GERAL.....	16
2	CENÁRIO ATUAL DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO NO SEMIÁRIDO CEARENSE – UMA ANÁLISE CONTEXTUALIZADA PARA O MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA.....	17
2.1	Introdução.....	17
2.2	Referencial Teórico.....	19
2.2.1	<i>Cenário Geral dos Núcleos de Desertificação no Semiárido Nordeste</i>	19
2.2.2	<i>Características Gerais do Núcleo de Desertificação de Irauçuba</i>	21
2.2.3	<i>Políticas públicas e assistência técnica nas áreas em processo de desertificação.....</i>	23
2.2.4	<i>Desmatamento: impedindo a sucessão ecológica e favorecendo a desertificação.....</i>	26
2.2.5	<i>O contexto das secas no município de Irauçuba.....</i>	27
2.2.6	<i>Contribuições dos sistemas de produção para a desertificação em Irauçuba.....</i>	31
2.3	Considerações Finais.....	33
3	INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO.....	35
3.1	Introdução.....	35
3.2	Referencial Teórico.....	37
3.2.1	<i>O semiárido nordestino: a influência da seca na vida das pessoas.....</i>	37
3.2.2	<i>A desertificação e seus dilemas socioambientais, econômicos e culturais.....</i>	39
3.2.3	<i>Sustentabilidade dos sistemas produtivos em ambiente degradado.....</i>	43
3.2.4	<i>Qualidades do solo e do ambiente numa visão interdisciplinar: caso Irauçuba.....</i>	46
3.2.5	<i>Indicadores físicos de qualidade física do solo.....</i>	50
3.2.5.1	<i>Infiltração de água no solo.....</i>	50
3.2.5.2	<i>Condutividade hidráulica.....</i>	52
3.2.5.3	<i>Curva Característica de Água no Solo.....</i>	53

3.2.5.4	<i>Índice S</i>	54
3.2.5.5	<i>Permeabilidade do solo ao ar</i>	56
3.3	Material e Métodos	58
3.3.1	<i>Caracterização da área de estudo</i>	58
3.3.2	<i>Coleta de dados e tratamentos experimentais</i>	59
3.3.3	<i>Determinações</i>	61
3.3.3.1	<i>Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total</i>	61
3.3.3.2	<i>Infiltração de água no solo</i>	61
3.3.3.3	<i>Condutividade hidráulica (K_0)</i>	62
3.3.3.4	<i>Curva característica de água no solo (CCAS)</i>	62
3.3.3.5	<i>Índice S</i>	63
3.3.3.6	<i>Permeabilidade do solo ao ar (K_{ar})</i>	64
3.3.3.7	<i>Carbono orgânico</i>	65
3.3.4	<i>Análise estatística</i>	65
3.4	Resultados e Discussão	66
3.4.1	<i>Carbono orgânico</i>	66
3.4.2	<i>Condutividade hidráulica (K_0)</i>	70
3.4.3	<i>Curva característica de água no solo (CCAS)</i>	72
3.4.4	<i>Índice S</i>	76
3.4.5	<i>Permeabilidade do solo ao ar (K_{ar})</i>	79
3.5	Conclusões	82
3.6	Considerações Finais	82
4	CONCLUSÃO FINAL	82
	REFERÊNCIAS	83
	APÊNDICE A – PARÂMETROS DE AJUSTE PARA A CCAS	96

1 INTRODUÇÃO GERAL

A desertificação não para de aumentar, principalmente em zonas áridas e semiáridas, principalmente com a elevação das temperaturas nos últimos anos. As ações do homem sobre a natureza têm contribuído para elevar os índices das temperaturas no globo terrestre, tanto pelas emissões de gases de efeito estufa, como pelas queimadas e desmatamento. No intuito de reduzir os impactos causados pela antropização, algumas políticas públicas devem ser aplicadas nesse sentido.

O presente estudo tem relevância não só do ponto de vista regional, mas também global, haja vista que a desertificação não acontece somente em pontos isolados ou de forma esporádica. Ao contrário do que pensam alguns estudiosos, este problema é cada vez mais crescente em várias partes do mundo e impacta a vida das pessoas do ponto de vista social, econômico, cultural e ambiental. Além destes aspectos, o estudo mostra que a desertificação influencia na escolha dos sistemas de produção e na qualidade do solo onde tais sistemas são inseridos, sejam orgânico ou convencional.

Nesse sentido, a tese foi dividida em dois capítulos. O primeiro apresenta uma revisão de literatura que disserta sobre o cenário atual dos sistemas de produção no semiárido cearense, analisando de forma contextualizada o município de Irauçuba.

No segundo capítulo é apresentado um estudo de caso no mesmo município de modo mais específico, considerando o solo como objeto de estudo e analisando a qualidade física deste recurso. Tendo em vista que o solo da região está consideravelmente degradado pelos processos erosivos, e a desertificação identificada na área é um problema evidente e crescente, só reforça ainda mais a importância de se estudar as alterações físicas que este recurso vem sofrendo em áreas utilizadas para fins agropecuários.

Portanto, se recomenda que mais estudos como este possam ser discutidos para fins de análise e introdução de políticas públicas que venham contribuir para mitigar os problemas advindos da desertificação, bem como das secas severas, no intuito de melhorar a convivência e permanência do homem no campo.

2 CENÁRIO ATUAL DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO NO SEMIÁRIDO CEARENSE - UMA ANÁLISE CONTEXTUALIZADA PARA O MUNICÍPIO DE IRAUÇUBA

2.1 Introdução

Atualmente, a exploração agropecuária tem sido uma das poucas alternativas de sobrevivência para o homem do campo que vive no Nordeste brasileiro. Os fatores climáticos como temperaturas elevadas, com precipitações irregulares, bem como as condições de secas severas têm provocado nestas pessoas um sentimento de incerteza com relação a tal atividade.

Desde muito tempo atrás, a criação de gado, feita de maneira extensiva, e os latifúndios já sobrecarregavam o pasto natural (Caatinga), colocando um grande número de cabeças de gado em uma mesma área. Aliado ao inadequado plano de manejo, inexistia mão de obra especializada e era comum a prática de queimadas para “limpar” o terreno. A consequência dessas práticas inadequadas de manejo por vários anos foi agravando seus efeitos com o passar dos tempos (PATALENA; MAIA, 2014, p. 464).

Para reiterar o que já foi dito no parágrafo anterior, Menezes *et al.* (2012, p. 649) salienta a presença de outro impulsionador da degradação nestes locais, como a derrubada de matas para a extração intensiva de madeira para combustível. Ademais, as mudanças climáticas são também um dos fatores que mais afetam o Bioma Caatinga.

Historicamente as secas prolongadas, típicas do Semiárido do Nordeste brasileiro acompanharam a trajetória das gerações de homens e mulheres que se sucederam nesse espaço e que criaram/desenvolveram características múltiplas para assegurar a sua sobrevivência em meio a essas especificidades climáticas (BURITI; AGUIAR, 2012, p. 8).

A presença de secas na região do semiárido é datada desde muito tempo. Consta-se em alguns registros que as maiores secas trouxeram fome e sede para a população existente. Campos (2014) ressalta que na Grande Seca de 1877 a 1879, morreram centenas de milhares de pessoas.

No entanto, em meio às condições impostas pelo problema, tem-se buscado alternativas por meio de discussões, em termos de políticas públicas. De acordo com Campos (2014, p. 65), as primeiras políticas públicas contra as secas somente foram iniciadas após o governo reconhecê-las como problema nacional e agir no sentido de solucioná-las.

Além das políticas públicas, Menezes *et al.* (2012, p. 643) sugerem que outras ações devem ser realizadas para aumentar a sustentabilidade e melhorar a resiliência e a estabilidade dos ecossistemas. Os sistemas de uso da terra baseados em espécies perenes, em contraposição a anuais, devem ser mais estáveis e resilientes, portanto mais adequados para enfrentar os potenciais aumentos na variabilidade climática. Estudos de longa duração para avaliar o potencial da biodiversidade nativa ou de exóticas adaptadas no delineamento de sistemas de uso sustentáveis deveriam ser encorajados.

No Estado do Ceará, o processo de elaboração do Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação – PAE-CE, previu a necessidade de implementar uma política específica para as Áreas Susceptíveis à Desertificação – ASD. Conforme o programa é importante estabelecer diretrizes, instrumentos legais e institucionais, visando otimizar a formulação e execução de políticas públicas e investimentos privados nas ASDs, que devem estar direcionadas para a promoção do desenvolvimento sustentável experimentado nessas áreas (CARVALHO *et al.*, 2015, p. 6102).

Nesse contexto, a maioria dos pequenos agricultores, no período das chuvas irregulares, procura o seu sustento praticando a agricultura migratória ou itinerante, que vem acompanhada de desmatamento, queima, plantio e uso de animais depois da colheita. Após dois ou três anos de uso, migra-se para outro local começando todo o processo novamente e deixando a área pobre em nutrientes do ponto de vista da fertilidade do solo. Esse tipo de atividade agrícola é denominado como agricultura itinerante ou nômade (DUQUE, 1980; ARAÚJO FILHO, 2013, p. 96; ARAÚJO FILHO; SILVA, 2015, p. 29, GUIMARÃES; VALLADARES; MARTINS, 2016, p. 11).

A presença de animais durante o período seco é outro problema identificado, já que são criados soltos (criação extensiva) em grandes áreas, cuja fonte de alimento é a Caatinga. Nesse tipo de sistema, geralmente não se respeita a capacidade de suporte da área, sendo que a intensidade de uso dos animais provoca a compactação do solo (COSTA, 2015, p. 181). Em contrapartida, o baixo índice de vegetação (MELO; SALES, 2015, p. 304) e o solo descoberto favorece a erosão eólica no período seco e a erosão hídrica no início do período chuvoso, empobrecendo o solo física e quimicamente (COSTA, 2015, p. 271).

O sertão cearense abriga uma série de solos que são fortemente suscetíveis à erosão. Dentre eles estão os Argissolos, Neossolos, Planossolos e Luvisolos (LIMA; OLIVEIRA; AQUINO, 2002, p. 14). Tais solos estão presentes na região semiárida juntos

com outros, cujo percentual é descrito por Jacomine (1996) da seguinte forma: Latossolos (21%), Neossolos Litólicos (19%), Argissolos (15%), Luvisolos (13%), Planossolos (10%), Neossolos Quartzarênicos (9%), Neossolos Regolíticos (4%) e Cambissolos (4%). De acordo com Sá *et al.* (1994), o binômio algodão-pecuária e a exploração da vegetação para produção de lenha, madeira e carvão foram os principais agentes de degradação nesse sentido.

Neste contexto, o objetivo desta revisão é dar especial atenção aos tipos de sistemas produtivos que contribuem com a qualidade do solo em áreas que se encontram em processo de desertificação, contextualizando o problema com as atividades antrópicas e tentando mostrar alternativas de agroecossistemas sustentáveis.

Portanto, é fundamental o conhecimento sobre os tipos de solo, o manejo correto da caatinga e dos animais sobre a área, bem como o tipo de agroecossistema a ser implantado em cada situação.

2.2 Referencial Teórico

2.2.1 Cenário Geral dos Núcleos de Desertificação no Semiárido Nordestino

A desertificação é um problema de dimensões globais que afeta as regiões de clima árido, semiárido e subúmido seco da Terra, resultante de vários fatores que envolvem variações climáticas e atividades humanas. O grau de conhecimento dos processos degradativos da terra e sua extensão necessitam de constantes atualizações, sobretudo, naquelas áreas rotuladas de Núcleos de Desertificação (PEREZ-MARIN *et al.*, 2012, p. 87).

Geograficamente, de acordo com Marques e Oliveira (2016, p. 967), o Nordeste brasileiro pode ser assim caracterizado:

[...] “é uma região singular, do ponto de vista climático. Trata-se de uma das poucas áreas do planeta que apresentam uma extrema complexidade nas condições climáticas. Situa-se numa faixa de baixas latitudes, sem grandes elevações topográficas, e na qual são intensos os valores anuais de insolação, além de ser envolvida a norte e leste por um oceano tropical. Reúne, assim, todas as características geográficas para o domínio de climas quentes e úmidos. Contudo, um expressivo bolsão de semiaridez, de natureza azonal, ocasiona uma anomalia climática na região”.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, no Nordeste brasileiro, consta a presença de quatro núcleos de desertificação: Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (RN) e Cabrobó (PE) (BRASIL, 2007). Estes núcleos foram assim classificados por apresentarem condições visíveis de um avançado processo de desertificação, no qual o fator antropogênico se faz comum, sendo protagonista deste avanço. Tal presença antrópica pode ser explanada nos parágrafos seguintes, cujo intuito é visualizar as similaridades desse processo nas áreas citadas.

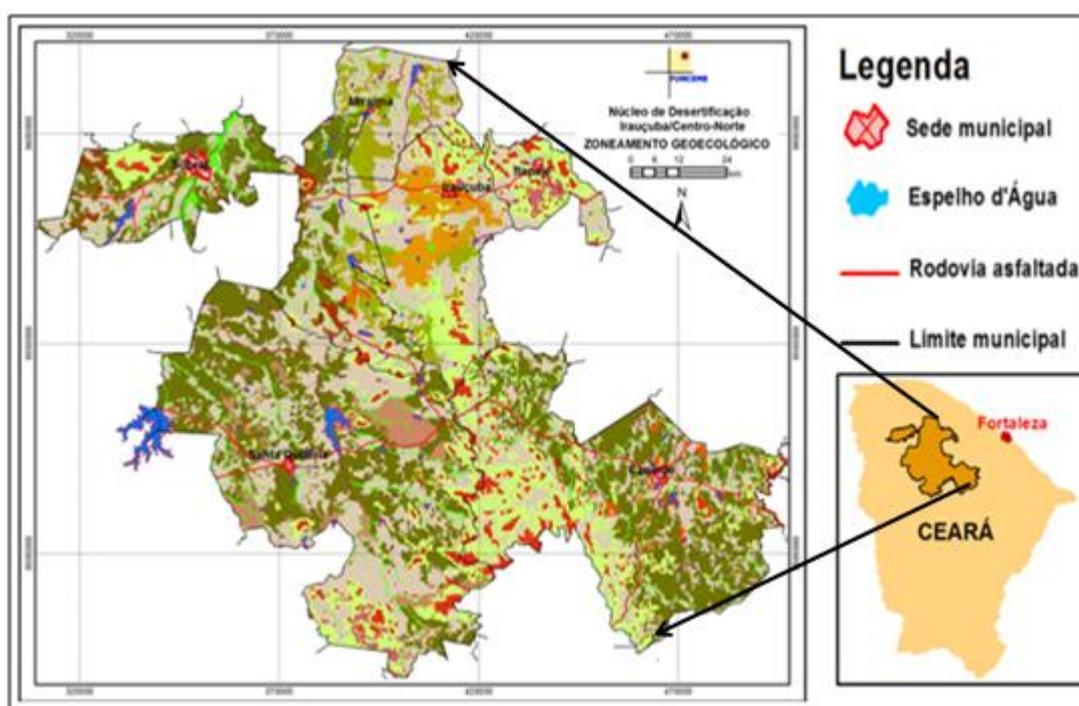
O Núcleo de Desertificação do Seridó se localiza no Rio Grande do Norte. A área e população afetadas pela desertificação é bastante considerável, ocupando cerca de 2.987 km² com 260.000 habitantes (SILVA *et al.*, 2016, p. 383). O processo é fomentado pela ação do homem no tocante ao uso de queimadas, cultivo do algodão no passado, pastoreio e exploração de lenha, que alteraram a composição florística e a estrutura da vegetação potencial (COSTA *et al.*, 2009, p. 962). Estes últimos autores, relatam ainda que o uso dessas atividades pelo homem resultou na quebra do equilíbrio entre espécies tardias, intermediárias e pioneiras, na exposição do solo e perda do banco de sementes.

Considerado um dos núcleos mais graves nesse processo, o Gilbués se localiza no sudoeste de Piauí, onde uma parcela de suas áreas já se tornou irreversíveis. O fato é que a extração desordenada de diamantes, iniciada por volta de 1940, tem contribuído para esse quadro assustador. A irreversibilidade do processo é gritante, uma vez que seus solos degradados, associados às questões de clima e relevo favorecem à degradação natural. A ação antrópica tem frequentemente contribuído para a aceleração desse processo, associadas ao desmatamento, à mineração, ao sobrepastoreio, ao cultivo excessivo, à irrigação inadequada e ao latifúndio (PATRÍCIO; SILVA; RAMOS, 2012, p. 22).

Já o Núcleo de Desertificação de Cabrobó está localizado no sul do Estado de Pernambuco, região fitogeográfica do Sertão Central, abraçando os municípios de Cabrobó, Orocó, Santa Maria da Boa Vista, Belém do São Francisco, Salgueiro, Parnamirim, Itacuruba, Petrolina, Afrânio, Ouricuri, Araripina e Floresta. A origem da desertificação neste Núcleo está relacionada às condições climáticas, edáficas e de ocupação e uso da terra. O solo, relevo, precipitação, temperatura e os ventos criam dentro da área condições locais para uma maior ou menor desertificação, fazendo variar a fisionomia da paisagem com gradações de sombreamento resultantes de uma maior ou menor densidade de plantas (PEREZ-MARIN *et al.*, 2012, p. 97).

O núcleo de desertificação de Irauçuba (Figura 1) situa-se na região do sertão norte do Ceará, a 150 km ao norte de Fortaleza, a sotavento da serra da Uruburetama, tendo como centro a cidade Irauçuba. Este município compreende uma área de, aproximadamente, 1.461 km², ou 146.100 ha, e população humana de 22.347 pessoas, resultando em uma densidade de 22,3 hab/km² (ARAÚJO FILHO; SILVA, 2015, p. 22). Os estudos sobre este núcleo estão cada dia mais sendo aprofundados. No entanto, muitos aspectos precisam ser argumentados, haja vista as lacunas que se mostram pelo avanço de secas frequentes e duradouras ocorridas nos últimos anos.

Figura 1. Mapa do Núcleo de Desertificação de Irauçuba/Centro Norte do Ceará



Fonte: Adaptado de Carvalho *et al.* (2015)

2.2.2 Características Gerais do Núcleo de Desertificação de Irauçuba

O município de Irauçuba, no Norte do Ceará, é conhecido por fazer parte do Núcleo de Desertificação de mesmo nome. De acordo com Sá *et al.* (2010, p. 356), o núcleo consiste de uma área total de 4.000 km². Área esta cuja paisagem se destaca por intensos desmatamentos, prática de queimadas e ocupação desordenada do solo. O núcleo é composto por outros municípios como Sobral, Tejuçuoca, Itapagé, Canindé e Miraíma. Os solos são rasos e pedregosos e, em função dessa característica, a erosão culmina com o afloramento das

rochas. Muitas dessas áreas estão localizadas em terrenos altos e inclinados, o que aumenta a probabilidade de erosão.

Nas décadas de 1950 e 1960, a monocultura do algodão contribuiu para o degradação do solo, que também sofreu com os desmatamentos ocorridos nos anos 1970, quando a madeira foi usada, indiscriminadamente, para a produção de energia (SÁ *et al.*, 2010). Tanto o desmatamento quanto as queimadas perduraram ao longo dos anos e até hoje são aplicadas erroneamente, ou seja, sem a mínima concepção de que, na verdade, estão provocando o empobrecimento da área, bem como a redução da capacidade produtiva. Essa agricultura é conhecida como migratória e suas características estão descritas a seguir, por Araújo Filho (2013, p 96).

[...] o modelo migratório ou itinerante incluem o desmatamento total, a queimada da madeira, o cultivo de até dois anos e pousio para recomposição da vegetação nativa e da fertilidade do solo. O solo é mantido sempre sem qualquer cobertura vegetal, viva ou morta, devido às constantes capinas, contribuindo, assim, para os elevados índices de erosão.

No município de Sobral, por exemplo, é bastante comum o uso dos cultivos nas encostas, o que condiciona o aumento da erosão já que as culturas são cultivadas na direção do declive do terreno. Segundo os agricultores, a opção pelas terras nas encostas para a implantação dos roçados baseia-se no menor risco de perda de safra em função do alagamento comum nas terras planas do município, durante a época das chuvas. Nestas condições, as perdas de solo por erosão são assombrosas. Ensaio realizados na Embrapa Caprinos e Ovinos, em Sobral, apontam para perdas de 69,0 t/ha em um Luvissole com apenas 15% de declividade (ARAÚJO FILHO; SILVA, 2015, p. 30). Contrastando com esta realidade, Oliveira (2015, p. 50) constatou que o plantio morro abaixo de palma forrageira foi o que obteve maior percentual de perda de solo (73,01%) quando comparado ao seu respectivo pousio, o equivalente a 8.647,09 g m².

O município de Forquilha também se constitui como espaço apropriado para os estudos em desertificação. O mesmo compartilha da mesma situação de exploração dos recursos naturais, pois sua área é drenada por uma bacia que é muito expressiva para a região, a bacia do Acaraú. Esta área foi fortemente ocupada, pois antes da década de 1930 ainda pertencia a Sobral, uma das cidades mais importante economicamente no Ceará durante os séculos XVIII, XIX e XX, devido a sua posição geográfica que permitia a comunicação e o

escoamento das mercadorias produzidas no Ceará para o porto de Camocim (SANTOS FILHO *et al.*, 2012, p. 1048).

Em uma pesquisa realizada no município de Forquilha, Santos Filho *et al.* (2012) relataram que o declínio de produtividade biológica nos solos por conta da retirada da vegetação implicando em solo exposto às altas temperaturas retira a umidade como também deixa este mais exposto à erosão, onde o solo perde o material superficial (matéria orgânica) acentuando os chãos pedregosos e os afloramentos rochosos. Os mesmos autores observaram ainda que as atividades realizadas no espaço natural superam a capacidade de suporte do ambiente, como o sobre pastoreio, agricultura praticada com sistemas tecnológicos rudimentares, extrativismo vegetal que retira a vegetação natural, dentre outras, restando um solo pedregoso sem muita utilidade.

Somando-se aos dilemas relatados acima, Nolêto (2005, p. 62) ressalta que a população, na sua maioria, apresenta baixa renda e, para suprir as suas necessidades, recorre a uma agropecuária de subsistência, numa área onde os solos, como já mencionado, em sua maioria são rasos e a disponibilidade de água insuficiente, consequência do baixo regime pluviométrico e da elevada taxa de evapotranspiração. Na lavoura, os principais produtos cultivados são o arroz, a banana, o feijão, a mandioca e o milho e, na pecuária, extensiva, há a criação de bovino, suíno, muar, ovino e caprino. Outra forma de renda é através do extrativismo vegetal, com consequente desmatamento da vegetação nativa para a produção de carvão vegetal e lenha.

2.2.3 Políticas públicas e assistência técnica nas áreas em processo de desertificação

Outro grave problema na agricultura tradicional no semiárido, com ênfase para os núcleos de desertificação é a pouca assistência técnica da extensão rural aplicada ao agricultor familiar. Apesar de já se ter implantados algumas políticas no Ceará, como as cisternas, por exemplo, muito se precisa fazer para mudar a realidade das famílias na região. As ações devem envolver instituições e famílias rurais que, juntos, devem iniciar um debate sobre as necessidades de cada comunidade mediante a crise hídrica, principalmente no período mais seco do ano. Tal período dificulta a obtenção de água para o consumo humano e impedindo o trabalho do agricultor rural de atuar para ganhar seu sustento.

Em 2014, ano em que a seca se fez presente em Irauçuba, alguns casos importantes foram relatados no intuito de se perceber porque algumas políticas públicas não

vingaram em Irauçuba. Segundo Oliveira (2014, p. 90), a princípio, a seca seria o maior problema, pois é possível enumerar seus impactos sobre o setor agropecuário (com oscilações nos rendimentos das culturas e criações) e sobre o bem-estar dos pequenos produtores (com a falta de acesso à água para consumo e produção).

Para melhor explicar, Oliveira (2014, p. 90) relata que, após um estudo minucioso, percebe-se que os impactos desse fenômeno, antes de chegarem aos agricultores familiares, passam pelas mãos do poder público na sua maneira de administrar locais que têm sua economia, condições sociais e cultura, sensíveis a fenômenos naturais, através da implementação das políticas públicas no município. Ademais, a autora da pesquisa enfatiza que as políticas públicas voltadas para a população rural são elaboradas para beneficiar determinado grupo de pessoas: com crédito, garantia de preço e venda da produção, implementação de tecnologias, com seguro de perda de safra, dentre outros benefícios. Contudo, as necessidades básicas de alimentação e acesso à água antecedem qualquer outra necessidade.

O Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) foi uma das políticas implantadas no sentido de abreviar o problema da escassez de água, de modo a promover o seu armazenamento por meio de cisternas. Pereira (2016, p. 199) acrescenta que o P1MC busca promover práticas de convivência com o semiárido, cuidando da natureza, do solo, da água e buscando melhorar as condições de vidas das famílias sertanejas a partir da adaptação às condições ambientais locais, envolvendo a cisterna e a disseminação de conhecimentos.

Mas, qual o grau de satisfação das famílias beneficiárias do programa? Será que é suficiente para resolver o dilema da falta de água? Seria necessário, portanto, promover o elo de satisfação ou retorno dos beneficiários do programa para com o Estado.

Tentando dar respostas, Santos *et al.* (2009, p. 42) conclui que o P1MC não atinge a descentralização nem a superação da dominação secular das elites sobre o povo a partir do controle da água. Ainda assim, a captação e o armazenamento da água da chuva são experiências válidas, não apenas pelo estoque de água para os períodos das secas, mas por sinalizarem a introdução de um processo de organização e mobilização social e de formação para a gestão de recursos hídricos e a viabilidade da convivência com o Semiárido.

Assim, impõe-se o desafio de envolver Estado e sociedade de modo sinérgico a fim de empreender e consolidar mudanças institucionais mais amplas nas estruturas circundantes do Semiárido brasileiro. Deste modo, sugere-se que pesquisas futuras estejam

orientadas ao estudo sobre o desenvolvimento das capacidades sinérgicas de Estado e sociedade naquilo que a criação de arranjos inovadores pode orientar sobre construção de políticas de convivência com o Semiárido e consolidação de mudança institucional na região (ANDRADE; CORDEIRO NETO, 2016, p. 566).

A Ematerce (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará), tem se mostrado pouco incisiva nas ações e melhorias das condições para o homem do campo. Porém, alguma coisa já tem sido feita como a distribuição de sementes para o plantio e a empresa já citada tem sido importante neste processo com o programa “Hora de Plantar”, que distribui sementes aos agricultores cadastrados no programa. no entanto, é importante que se intensifique o uso de sementes crioulas, sendo estas adaptadas às condições de clima seco e chuvas escassas, reduzindo às perdas na produção anual, evitando a insatisfação dos produtores e o possível abandono do campo para morar na cidade (êxodo rural).

Portanto, é importante salientar que um banco de germoplasma para sementes crioulas é de grande importância para evitar a extinção daquelas que são a base para aquisição de plantas mais resistentes e adaptadas às adversidades oriundas das secas e do processo de desertificação. Por isso, mostrar para os agricultores formas de conservação, barata e acessível, de sementes crioulas por meio da extensão é um passo que empresas como a Ematerce pode utilizar em seu público-alvo.

É importante deixar claro que sanar os problemas genéticos das culturas existentes não basta; o incentivo ao crédito também é essencial. Em um depoimento dado a Lima (2011, p. 80), a Ematerce relata a dificuldade da distribuição de crédito para os pequenos agricultores e diz que, infelizmente no Ceará, os maiores detentores de parte das terras ainda não são agricultores; são empresários, médicos e grandes criadores. Então, isso dificulta a distribuição de créditos e políticas públicas, já que os agricultores não são os legítimos proprietários.

Uma assistência técnica adequada deve ser dada no sentido de garantir as orientações necessárias aos trabalhadores rurais. A procura desse aprendizado faz uma considerável diferença para aquelas famílias que buscaram saber, em instituições não governamentais, como produzir em suas pequenas propriedades (e até mesmo em médias propriedades e nos assentamentos), e como diversificar a produção, utilizando técnicas que propiciem a renda que mantém o alimento e o suprimento de outros produtos necessários para a vida no campo (LIMA, 2011, p. 66).

2.2.4 Desmatamento: impedindo a sucessão ecológica e favorecendo a desertificação

A retirada das plantas pelo desmatamento interfere no processo sucessional da vegetação. Esse processo, considerado importante do ponto de vista ecológico, é denominado por Araújo Filho (2013, p. 42) como as mudanças unidirecionais de substituições de comunidades vegetais em uma mesma área. Ainda de acordo com o autor, as comunidades de plantas são classificadas em duas origens: primária e secundária. Tais fases podem indicar uma evolução em busca de um ponto de equilíbrio chamado de clímax, que constitui a comunidade vegetal no final do processo sucessional.

Muitas vezes, como ocorre no Semiárido nordestino, o uso abusivo da vegetação da caatinga, seja pelas queimadas repetitivas antes do plantio agrícola, seja pelo sobrepastejo, faz com que a sucessão secundária leve a vegetação para um estágio conhecido como disclímax. Este, também identificado como o clímax de áreas degradadas, é caracterizado por uma comunidade vegetal de baixa biodiversidade e composta basicamente por espécies espontâneas pioneiras (ARAÚJO FILHO, 2013, p. 42).

Atualmente, pouco resta do que teria sido o clímax da caatinga. Em vez disso, estudos apontam índices de devastação da vegetação superiores a 90% em vastas áreas dos sertões nordestinos. Levantamentos feitos no estado do Ceará indicam que em 1992 restavam apenas 20% da vegetação original da caatinga, e que seu ritmo de desaparecimento anual alcançava 2,7% da cobertura florística existente (ARAÚJO FILHO, 2013, p. 89). Supondo que não houvesse nenhum tipo de atitude para o controle do desmatamento e se esse ritmo permanecesse o mesmo, possivelmente em 10 anos não restaria mais vegetação, comprometendo os processos ecológicos envolvidos no local.

Para corrigir esse cenário, um levantamento na Caatinga tem indicado a importância de acrescentar espécies pioneiras lenhosas como *Mimosa tenuiflora* Wild. (jurema preta), *Croton sonderianus* Muell. Arg. (marmeleiro), as quais são utilizadas com mais frequência, além da presença de outras espécies como *Caesalpinia bracteosa* Tul. (catingueira), *Bauhinia cheilantha* (mororó), *Combretum leprosum* Mart. (mofumbo) (GARIGLIO, 2010).

A catingueira, o marmeleiro e a jurema-preta são extremamente importantes no equilíbrio ecológico da Caatinga, sendo a jurema-preta bioindicadora de ambientes degradados, indicando que o mesmo sofreu algum tipo de alteração antrópica (SANTOS; LUZ; EL-DEIR, 2016, p. 9), como a agricultura migratória, por exemplo.

Ao se praticar uma agricultura dita nômade ou migratória, é preciso que se respeite o período mínimo de repouso para recuperação do solo e da vegetação nas áreas utilizadas, para que possa ter características de sustentabilidade. No caso da Caatinga, estima-se que o período mínimo de pousio seria, aproximadamente, de 50 anos, com uma sequência sucessional de 3 anos para a dominância das herbáceas, 17 para as arbustivas, uns 15 para um complexo arbustivo-arbóreo, quando, então, se verifica a supremacia das árvores, a qual se completa após cerca de 10 anos, totalizando em torno de 50 anos o tempo necessário para que a vegetação retorne ao clímax original (ARAÚJO FILHO, 2013, p. 89).

2.2.5 O contexto das secas no município de Irauçuba

O município de Irauçuba é palco de cenários que proporcionam avaliar os contextos cultural, social, econômico e ambiental. Mediante a estes aspectos, vale a pena discorrer cada um deles de modo a explanar a importância dos mesmos e sua relação entre si, bem como a influência local sobre cada aspecto.

É fato que a população de Irauçuba continuou crescendo desde o último censo realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Essa assertiva pode ser corroborada pelo fato de que o homem, no seu processo de evolução, passou a se comportar mediante a disponibilidade de alimentos. Com isso, começou a conquistar novos espaços e fazê-los refém do modelo de exploração que hoje predomina.

O modelo exploratório predominante em Irauçuba foi, e ainda hoje é, a agricultura migratória e a pecuária extensiva. As comunidades de antigas de Irauçuba encontraram inicialmente uma paisagem composta por plantas endêmicas e animais típicos da caatinga. No entanto, com o aumento da população rural e urbana, tal paisagem deu lugar a um ambiente degradado pelo aumento das atividades promovidas pelo homem. A intensidade destas atividades ainda é crescente e pode exaurir os recursos naturais ali presentes, principalmente quando as condições de altas temperaturas e chuvas concentradas, curtas e torrenciais favorecem o processo de degradação.

O clima típico da região é composto por temperaturas médias de 28° graus anuais e pluviosidade média de 400 mm de chuva por ano, condições típicas de semiárido. A situação de semiaridez tem trazido incertezas às famílias do campo que dependem de água e do alimento para sobreviver, sendo estes recursos reduzidos a cada ano, principalmente

durante período de seca. Inclusive, nos últimos anos, o problema se intensificou, haja vista a presença de secas consecutivas que duraram mais de cinco anos.

Esse cenário passa a se agravar ainda mais quando a população humana se apodera dos recursos vegetais e retiram as árvores, usando-as como matéria-prima para a construção de suas casas e na produção de energia por meio da queima da lenha. E assim começa-se um ciclo vicioso de desmatamento e queimadas, também realizados no intuito de se implantar o modelo de agricultura já mencionado anteriormente, a agricultura migratória.

O pastoreio excessivo em muito contribui para a degradação dos solos pela compactação, diminuindo o banco de sementes e a cobertura do solo, conseqüentemente a ciclagem de nutrientes e culminando na diminuição da fertilidade do solo, bem como acelerando o processo erosivo nas áreas. A recomendação nesses casos, segundo Souza *et al.* (2015, p. 7), é para a aplicação de práticas como adubos orgânicos, ramas de leguminosas ou plantio de aleias, enleiramento de garranchos, adoção de sistemas conservacionistas como os agrossilvipastoris e o não uso do fogo para plantio/abertura de áreas, são as formas acessíveis de agricultores familiares manterem e conservarem a fertilidade do solo em patamares adequados para a produção agropecuária.

Quando práticas como essas não são realizadas, as áreas estarão mais propensas à erosão. Esta se intensifica com o pisoteio dos animais pelo sobrepastejo, que compactam o solo (ARAÚJO FILHO, 2013, p. 114; SOUZA *et al.*, 2015, p. 7). Dessa forma, as chuvas intensas encontram o ambiente desprovido de cobertura vegetal (solo desnudo). Uma vez compactado, a dificuldade de infiltração da água aumenta e no período chuvoso, o impacto das gotas das chuvas provocam o salpicamento das partículas de solo, sendo os sedimentos carregados para outros locais pela força das enxurradas. Esse processo se intensifica com aumento da declividade do local.

Dado a esse fato é necessário avaliar quais áreas são ou não propícias ao adequado uso da terra em relação à declividade que as mesmas apresentam, como fez Guimarães, Valladares e Martins (2016, p. 3) na região no Sertão Central do Ceará.

A presença de solos desnudos já se fazia preocupante desde muito tempo e tais preocupações já foram citadas por autores como Guimarães Duque em 1949, o qual afirmava o seguinte:

[...] O desnudamento do solo não conduzirá o país a um deserto físico como o Saara, com as suas tempestades de areia e ventos sufocantes, nem diminuirá o total de chuvas, porém provocará os extremos meteorológicos, a insolação aumentada, o

calor excessivo, o ressecamento intenso, a erosão eólica, que produzem cheias mais impetuosas e secas mais violentas, que fazem minguar as fontes de produção, que diminuem a habilidade e o conforto, que resultam, enfim, no deserto econômico (DUQUE, 1949).

Ademais, a falta de vegetação além de tornar o solo suscetível à erosão hídrica também facilita a erosão eólica (ALVES; AZEVEDO; CÂNDIDO, 2017, p. 23), uma vez que no final do período seco os ventos se apresentam mais frequentes e com maiores intensidades. A força do vento transporta os sedimentos soltos pelo revolvimento do solo durante os preparos agrícolas. Seja qual for o tipo de erosão, os danos são incalculáveis ao longo dos anos, pois o processo tende a se agravar, com perdas que variam de 200 a 1000 t ha⁻¹ ano⁻¹, a depender do tipo de solo, conforme observaram Hernani *et al.* (2015, p. 153).

De acordo com Araújo Filho (2013, p. 34) a aceleração da erosão eólica e hídrica removem a argila e o silte, alterando sua textura nas camadas superficiais, e tornando o solo arenoso, típico de regiões desérticas. Nesse sentido, Costa *et al.* (2016, p. 433) reforça que a manutenção da cobertura vegetal é fundamental para proteger o solo da erosão eólica e hídrica. Os autores sugerem ainda que seria necessário o uso de barreiras físicas vegetais para proteção contra a erosão eólica, principalmente com espécies nativas.

Outro grande problema está na perpetuação do modelo agropecuário, seja espacial ou temporalmente. As populações só aumentam e a produção de alimentos nesse tipo de sistema tende a diminuir, sendo uma preocupação para as famílias de agricultores que provavelmente se sentem impotentes diante de tal situação. Nesse contexto, é necessário o papel da extensão rural para levar informações que abordem formas menos agressivas ao ambiente e mais promissoras do ponto de vista sustentável, aliando os aspectos sociais, econômicos, ambientais e culturais para fortalecer a convivência do homem no campo.

A convivência manifesta uma mudança na percepção da complexidade territorial e possibilita resgatar e construir relações de convivência entre os seres humanos e a natureza, tendo em vista a melhoria da qualidade de vida das famílias sertanejas. Esta nova percepção elimina “as culpas” atribuídas às condições naturais e possibilita enxergar o Semiárido com suas características próprias, seus limites e potencialidades. Nesse sentido, o desenvolvimento do Semiárido está estreitamente ligado à introdução de uma nova mentalidade em relação às suas características ambientais e a mudanças nas práticas e no uso indiscriminado dos recursos naturais (CONTI; PONTEL, 2013, p. 27).

Entretanto, para construir esta perspectiva da convivência é necessário fazer um longo exercício de desconstrução que se inicia com a desmistificação da mentalidade que se faz crer que o Semiárido seria um lugar de vidas secas. Em contraposição a esta compreensão imperante pode-se visualizar uma enorme diversidade sociocultural e ambiental, com grande criatividade e capacidade do povo para desenvolver estratégias de sobrevivência que convergem para assegurar sua permanência na região com boa qualidade de vida (PONTEL, CONTI; ARAÚJO, 2013, p. 197).

Para tornar esse pensamento uma realidade, Baptista e Campos (2013, p. 53) recomendam algumas estratégias que podem ser aplicadas pelas esferas governamentais e pelas pessoas que vivem no campo. A saber:

- Realizar uma reforma agrária ampla, adequada à realidade do Semiárido e dinamizadora das condições de produção de alimentos no semiárido, garantindo a segurança alimentar e nutricional;
- Criar animais que sejam adequados a este clima (bodes, carneiros, galinhas caipiras e outros animais nativos do semiárido);
- Desenvolver e utilizar tecnologias que possibilitem ao povo a captação de água das chuvas, ao invés de deixar que ela se desperdice (cisternas de consumo humano, cisternas de produção, barragens subterrâneas, tanques de pedra, poços artesianos onde eles são possíveis, bombas populares poços rasos, aguadas para os animais, pequenas barragens);
- Desenvolver experiências de créditos comunitários e oficiais; educar todas as pessoas para a conservação do solo, da Caatinga, das águas, da biodiversidade e da vida no Semiárido;
- Assegurar políticas de assistência técnica agroecológica e de convivência com o Semiárido aos agricultores e agricultoras familiares;
- Organizar o processo produtivo dentro de perspectivas, princípios e metodologias agroecológicas, tendo as pessoas no centro, com sua soberania e segurança alimentar e nutricional.

Diante destas recomendações, é prudente trazê-las para a realidade do município de Irauçuba e de outros municípios. No entanto, isso só será possível quando os protagonistas locais (agricultores familiares) perceberem a possibilidade de se trabalhar sem destruir os recursos de solo, água e vegetação, essenciais à sua sobrevivência.

2.2.6 Contribuições dos sistemas de produção para a desertificação em Irauçuba

A plena convicção da importância da vegetação e da cobertura vegetal para manutenção dos recursos solo e água ainda é tema de debate pela classe de pesquisadores no meio da ciência (CARDOSO *et al.*, 2012, p. 633; FREITAS *et al.*, 2012, 122; LIMA *et al.*, 2018, p. 12). Porém, na prática não se tem visto muito progresso. Um exemplo forte pode ser apresentado pelas comunidades rurais do município de Irauçuba. A cada ano, a suscetibilidade dos solos à erosão aumenta, haja vista a exposição deste recurso ao impacto das chuvas intensas por falta de cobertura vegetal ocasionada pela retirada da vegetação, pelo sobrepastejo na pecuária extensiva, bem como pela agricultura itinerante ou migratória. Assim, propaga-se o caos pela exaustão dos recursos florestais (ARAÚJO FILHO, 2013, p. 99), tornando insustentável o modo de vida no local.

Outro recurso bastante precário, principalmente, em épocas de seca é a água, cujo uso é de fundamental importância para manter a vida da população e dos animais. Contudo, a crise hídrica tem afetado os rebanhos dos animais, os quais são obrigados a migrarem, na época seca, para outros estados provedores de melhores condições de alimento e água.

Uma das plantas mais adaptadas às regiões de clima semiárido é a palma forrageira, detentora de um considerável percentual de água na sua constituição, podendo ser fonte de alimento para os animais na época seca. Entretanto, no Ceará e, nesse caso específico em Irauçuba, essa cultura é pouco plantada, por causa da sua altitude, que é de 152 m ao nível do mar (IPECE, 2011, p. 5), condição esta que desfavorece a produção em raquetes comparadas aos demais estados.

Outros tipos de cultivos podem ser recomendados além da palma forrageira, contanto que as culturas sejam nativas ou adaptadas ao clima da região. Nesse contexto, Baptista e Campos (2013, p. 53) sugerem adotar plantios que sejam resistentes e vivam com pouca água (mandacaru, leucena, umbu, cajá e outras árvores nativas do semiárido, muitas das quais presentes na caatinga). Até porque a palma não é tão utilizada nos municípios cearenses. Araújo Filho (2013, p.112) relata o motivo pelo qual a palma não teve tanto êxito:

[...] no Ceará foi observado que somente a partir de 300 m de altitude, aproximadamente, a palma apresenta desenvolvimento adequado e produção de raquetes, o que se observa somente na região dos Inhamuns e nas serras secas. Em altitudes abaixo de 200 m o crescimento da cactácea é comprometido, e na época

seca as raquetes perdem o turgor na parte mais quente do dia, o que provavelmente reduz sua produtividade.

Essa realidade apontada pelo autor possivelmente explica por que o programa de implantação da palma no Ceará, conduzido pela Sudene na década de 1960, não obteve o sucesso desejado (ARAÚJO FILHO, 2013, p. 112).

É importante frisar que a grande questão não está só no tipo de cultura ou nos hábitos culinários das famílias rurais, mas também na forma como estas culturas têm sido implantadas; ou qual sistema agrícola escolhido para o seu plantio. É perceptível como muitos agricultores, seja pela falta de conhecimento ou pelo costume popular transmitido pelos seus antepassados, ainda são adeptos dos sistemas agrícolas convencionais.

Por outro lado, tal situação é muito difícil de ser resolvida sem uma conversa pautada em reuniões onde os próprios agricultores junto com a extensão rural devem procurar alternativas viáveis para a atual conjuntura vivenciada pelas famílias no campo. O método da pesquisa com metodologias participativas pode ser visto como uma das alternativas de demonstrar aos agricultores familiares uma forma menos agressiva de trabalhar o solo e a vegetação, visando à sustentabilidade do sistema.

Nesses casos, pode-se sugerir a utilização de sistemas agroflorestais (SAF's) e cultivos em consórcios, que permitem a diversificação dos cultivos, bem como a diversidade de alimentos na mesa do produtor e o incremento na renda familiar. Ademais, também possibilita um ganho do ponto de vista ambiental, pois permite maior proteção ao solo pela cobertura vegetal e disponibiliza maior aporte de matéria orgânica, contribuindo para o estoque de carbono na área.

As culturas detentoras de maior importância para os agricultores, em Irauçuba, são basicamente milho, feijão, fava, banana, dentre outras que fazem parte da mesa dos irauçubenses (ARAÚJO FILHO, 2013, p. 104). Mas, outras culturas podem ser implantadas, como a gliricídia, a algaroba e o sabiá em sistemas como os SAF's. Essas espécies podem ser constantemente podadas e seu material, quando depositado sobre o solo, o protege contra a erosão e melhora as características de fertilidade (MICCOLIS *et al.*, 2016, p. 76).

A preservação da produtividade da terra agrícola pode ser aliada à produção sustentável de alimentos. A sustentabilidade é alcançada através de práticas agrícolas alternativas, orientadas pelo conhecimento em profundidade dos processos ecológicos que

ocorrem nas áreas produtivas e nos contextos mais amplos dos quais elas fazem parte (GLIESSMAN, 2000, p. 52).

É preciso também que estes modelos sejam economicamente viáveis e socialmente justos, de forma que as culturas sejam cultivadas mediante a demanda do comércio local e não imponham às populações locais um processo agrícola que haja divergência com os seus hábitos alimentares. Para fomentar esta questão, políticas públicas devem subsidiar tecnologias acessíveis e assistencialistas, o que pode ser uma forma de tornar mais próspera a permanência do homem no campo.

Ainda relacionado a este assunto Toebe (2016, p. 27) enfatiza que diante dessa polêmica, enquandram-se também os programas e políticas ambientais introduzidos à agricultura. Ao mesmo tempo, a autora levanta um questionamento:

(...) “Tais programas e políticas estão (ariam) direcionados a preocupação maior de responsabilidade e cuidado com a vida, procurando acessar a consciência dos produtores rurais mesclando e evoluindo a percepção ambiental para um cenário de consciência ambiental que levaria todas à ética ambiental (ou a justiça social territorial)?”

De acordo com Harvey (1980), a justiça social pode ser interpretada por: (1) distribuição de renda localizada de acordo com as necessidades da população dentro de cada território, alocação dos recursos para maximizar os efeitos multiplicadores interterritoriais e alocação de recursos extras para ajudar a resolver as dificuldades específicas emergentes do meio físico e social; (2) definição de mecanismos institucionais, organizacionais, políticos e econômicos adequados é tão grande quanto possível de acordo com as perspectivas dos territórios menos favorecidos.

2.3 Considerações Finais

No âmbito das questões voltadas para Irauçuba, ainda há muito que se debater a respeito das questões político-institucionais, econômicas, sociais, ambientais e culturais que se manifestam em torno da desertificação e do fenômeno das secas na vidas das pessoas.

Um dos caminhos propostos nestes debates devem se voltar para os sistemas de produção agropecuários que estejam de acordo com a realidade dos produtores locais, mas que por outro lado, não degradem ainda mais o ambiente e tragam benefícios de cunho econômico e social para as famílias do campo e da cidade.

O uso de sistemas como: agrofloresta (ou agrossilvipastoril), cultivos em nível, consorciação de culturas, pastejo rotativo, entre outros. Todos eles valorizando as culturas nativas, que sejam mais resistentes às adversidades climáticas, economicamente rentáveis, e que garantam o sustento das famílias e dos animais.

3 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

3.1 Introdução

Durante muitos anos, a cultura do homem do campo esteve pautada no processo de exploração da terra, sem, ao menos, se preocupar com o esgotamento dos recursos naturais, como água, solo, florestas, dentre outros. A perda de solo aumenta a cada ano quando se retira, pelo desmatamento ou queimadas, o extrato herbáceo, arbóreo e arbustivo da vegetação local, que anualmente já sofre com a irregularidade das chuvas. Desse modo, aumenta a suscetibilidade do solo à erosão, havendo perdas visíveis dos componentes físico-químicos e microbiológicos, principalmente em áreas de sobrepastejo. Segundo Silva, Felizmino e Oliveira (2015, p 159) essas práticas exterminam a fauna e a flora presentes no solo, reduzindo a biodiversidade da Caatinga.

Os solos da região semiárida como os Planossolos geralmente se apresentam com má drenagem ou drenagem imperfeita, além de apresentar afloramento rochoso e moderadamente pedregoso em seu perfil. Tais características reduzem a capacidade de infiltração da água no solo, aumentando do escoamento superficial, dando início ao processo de carreamento de sedimentos (erosão laminar) para as áreas mais baixas ou para os rios, causando o assoreamento dos mesmos. Esse processo de degradação já está bem avançado em algumas áreas de desertificação, como é o caso de Irauçuba, e é alvo de diversos estudos (FERREIRA, 2015; BARBOSA, 2017) inclusive na temática da desertificação (CARVALHO *et al.*, 2015, p. 6102).

A condição climática nessas áreas, a utilização inadequada do solo e sua posterior degradação interferem na questão ambiental, econômica e social, inclusive o êxodo rural (GOMES, 2017) sendo esses fatores importantes no estudo da desertificação. Portanto, o problema pode ser considerado multi e interdisciplinar, já que as várias questões mencionadas anteriormente mantêm uma relação entre si.

O ambiente é um meio dinâmico e complexo e funciona de forma interligada com todo o entorno, inclusive com os seres vivos que dele dependem. Um ambiente degradado pode trazer consequências negativas para o homem e seu entorno, inclusive para a manutenção das atividades ambientais e econômicas (SANTOS *et al.*, 2017, p. 193). Por outro lado, o homem é o principal protagonista e pode decidir por degradar ou preservar o ambiente (solo ou vegetação), desde que tenha conhecimento suficiente para fazê-lo.

Tendo em vista que Irauçuba é alvo de diversos problemas causados por ações antrópicas, faz-se necessário um estudo mais aprofundado destes, envolvendo avaliações da qualidade do solo após a aplicação de coberturas vegetais, promovendo a sua mitigação.

Nesse sentido, parte-se do princípio de que diferentes tipos de cobertura vegetal melhora a qualidade estrutural do solo, bem como as áreas de pousio refletem na melhoria da qualidade de seus atributos físicos. Assim, a aplicação de diferentes matérias-primas, como a folha do sabiá, da jurema, da leucena, a bagana de carnaúba e o esterco bovino podem contribuir no incremento de material orgânico, melhorando o solo neste aspecto e reduzindo os custos com adubos sintéticos, já que as matérias-primas podem ser encontradas no local.

Nesse contexto, é de extrema importância a implantação e condução de ensaios experimentais que demonstrem ao homem do campo formas de proteger o solo e seus atributos, sejam eles físicos, químicos ou biológicos. Portanto, o objetivo da pesquisa foi avaliar a aplicação de adubos orgânicos sobre a qualidade física do solo por meio de indicadores, em área degradada e em processo de desertificação.

3.2 Referencial Teórico

3.2.1 O semiárido nordestino: a influência da seca na vida das pessoas

O Nordeste abrange 18,27% do território brasileiro, possuindo uma área de 1.561.177,8 km²; destes 962.857,3 km² estão inseridos no denominado Polígono das Secas, delimitado em 1936 e revisado em 1951, dos quais 841.260,9 km² abrangiam o Semiárido nordestino (ARAÚJO, 2011, p. 89).

Por outro lado, a área do Nordeste foi alvo de estudo também pela Região Semiárida do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE) e pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Legalmente, a primeira delimitação foi estabelecida no ano de 1936, denominando a área como Polígono das Secas em alusão a sua característica física mais marcante (TRAVASSOS; SOUZA; SILVA, 2013, p. 151).

O Ministério da Integração Nacional realizou uma nova delimitação em 2005, com isso o território desta região passou dos 892.309,4 km², corrigido posteriormente aos números supracitados, para 969.589,4 km² e sua população abrangia cerca de 21 milhões de habitantes, tomando como base o censo do IBGE do ano 2000. Segundo o IBGE (2011), em 2010 a região Nordeste contava com uma população de 53 milhões de habitantes. A Região Semiárida com aproximadamente 25 milhões de habitantes.

Em 20 de julho de 2017, a diretoria da SUDENE, estabeleceu os seguintes critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido: I – Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; II – Índice de Aridez de Thorntwaite igual ou inferior a 0,50; III – Percentual diário de deficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2017). Desta forma, mais 10 municípios passaram a fazer parte do novo mapa do semiárido, alcançando os 175 da totalidade. Ou seja, apenas 9 municípios dos 184, não foram inclusos nos novos critérios.

No discurso institucional e parte da literatura regional, o Nordeste surge como a “terra das secas”, merecedora de atenção especial do poder público (SILVA, 2003, p. 362). Nessa região, as condições climáticas são marcadas historicamente por baixas precipitações pluviométricas e elevadas taxas de evaporação da água, ocasionadas devido aos altos índices de temperaturas locais e associadas à recorrência de secas inerentes a esse tipo climático.

Quando o período seco chega, perdurando por cerca de oito meses, dá-se início também ao surgimento de um repetitivo dilema na vida das pessoas: o baixo acesso à água.

Isso se torna preocupante em anos sucessivos de seca, em que os reservatórios como açudes e barragens se apresentam, muitas vezes, bem abaixo da capacidade de suporte e limita o acesso desse recurso na vida das pessoas.

De acordo com Cirilo (2008, p. 61) “[...] a problemática dos recursos hídricos nas regiões semi-áridas mais habitadas é uma questão crucial para superação dos obstáculos ao desenvolvimento.”

Uma vez esgotada as fontes de água, o poder público tem o dever de intervir para reduzir os efeitos da escassez de água. Essa água, na maioria das vezes, só consegue matar a sede das pessoas, não ocorrendo o mesmo para os animais. A comunidade, nessas condições, se vê sem alternativa e acaba por vender seus animais para outras regiões em que as fontes de água e forragem são abundantes, conforme Cirilo (2008) nos aponta:

[...] É fato que os governos de muitas regiões semiáridas do mundo vêm atuando com o objetivo de implantar infraestruturas capazes de disponibilizar água suficiente para garantir o abastecimento humano e animal e viabilizar a irrigação. Todavia, esse esforço ainda é, de forma global, insuficiente para resolver os problemas decorrentes da escassez de água, o que faz que as regiões continuem vulneráveis à ocorrência de secas, especialmente quando se trata do uso difuso da água no meio rural (CIRILO, 2008, p. 61).

Segundo a Confederação Nacional dos Municípios (CNM), o Nordeste brasileiro enfrentou em 2013 a maior seca dos últimos 50 anos, com mais de 1.400 municípios afetados (CNM, 2013, p. 1). Nos últimos cinco anos, esse cenário tem se tornado cada vez mais comum nos municípios da região Nordeste do Brasil, com destaque para aqueles que fazem parte do Polígono das Secas e, principalmente para os que fazem parte dos Núcleos de Desertificação.

No Ceará, alguns municípios estão situados em um desses Núcleos de Desertificação, o que aumenta a probabilidade de escassez de água, como em Irauçuba. Segundo informações da Associação dos Municípios do Estado do Ceará (Aprece), 14 municípios do Estado do Ceará já se encontram em situação de colapso no que refere ao abastecimento nas sedes municipais (CNM, 2013, p. 3).

O município de Irauçuba tem um clima característico de semiárido, ou seja, com baixas precipitações e elevadas temperaturas durante o ano, favorecendo uma maior evaporação e restando pouca água nos reservatórios. Além disso, essa situação dificulta o plantio dos cultivos agrícolas que são outra fonte de alimento para as comunidades rurais.

A fim de poder amenizar os impactos das sucessivas secas na vida das pessoas, algumas políticas públicas têm sido realizadas nessa região, como a construção de cisternas para armazenar água das chuvas e advinda do abastecimento de carros-pipa.

[...] Dos 500 km de adutoras necessários, o Governo do Estado só garantiu 98 km (para junho de 2013) para atender 9 municípios. O Exército Brasileiro atende 105 municípios com 756 carros-pipa. [...] A Coordenadoria Estadual da Defesa Civil no Ceará (CEDEC) é responsável pelo atendimento de outros 73 municípios. Atualmente, atende 47 municípios com 105 carros-pipa (oferta insuficiente). A qualidade da água distribuída pela Operação carro-pipa está em muitos casos contaminada conforme estudo realizado pela Secretaria da Saúde do Estado do Ceará (CNM, 2013, p. 3).

Nesse contexto, as secas e o avanço da desertificação em regiões semiáridas geram instabilidades sociais, ambientais e econômicas, sobretudo em casos onde as comunidades necessitam de mais incentivos para promover a relação sustentabilidade com o meio onde vivem, com o solo onde plantam e com a venda dos produtos advindos da produção agropecuária.

3.2.2 A desertificação e seus dilemas socioambientais, econômicos e culturais

O processo de desertificação vem avançando a cada ano em Irauçuba, no Ceará, e em outros muitos municípios do semiárido nordestino. Por consequência, muitas famílias que moram nessa região, têm enfrentado grandes problemas como a decréscimo na oferta de água e alimento para o homem e os animais. Por isso, a região tem sido alvo de diversos estudos (SALES, 2002; PESSOA, 2008; ALMEIDA; OLIVEIRA; ARAÚJO, 2012; SARAIVA, 2013; CHAVANGO, 2014; COSTA, 2014; MANCAL, 2015).

Apesar desses problemas, a prática do desmatamento ainda é comum no semiárido nordestino. Segundo o Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizado em 2006, na Região Nordeste, houve aumento de 2,4 milhões de hectares de pastagens plantadas, correspondendo a 20,1%, concentrados nos Estados do Maranhão, com 1,1 milhão de hectares (38,2%) e na Bahia, com 1,0 milhão de hectares (15,9%) (IBGE, 2006, p. 123). Isso significa maiores faixas de terras desmatadas e o aumento no uso inadequado do solo.

Tal realidade condiz com o panorama do estado do Ceará e do Brasil. Informações catalogadas no ano base de 2012 relatam um decréscimo na extração de madeira comparada aos anos anteriores. Um dos motivos desse decréscimo se deve ao aumento da fiscalização

seguido da aplicação de multas aos infratores (IBGE, 2013). No entanto, a extração ilegal de madeira ainda é uma realidade, seja em Irauçuba ou em outros municípios brasileiros que precisam de mais atenção por já se encontrar em processo de desertificação.

O setor agropecuário ainda é a base da sociedade rural e a principal atividade econômica da maioria dos pequenos municípios (em termos de população) da região (BUAINAIN & GARCIA, 2013, p. 7). Mas é também uma das atividades que mais degrada o ambiente, tanto no pisoteio dos animais, compactando o solo, como pela retirada da vegetação nativa para o plantio de espécies de gramínea que servirão de alimento para os animais, o que torna o solo sem cobertura vegetal e vulnerável à degradação. A carga animal na área do núcleo em Irauçuba continua muito acima da real capacidade de suporte da região, e o sobrepastejo aumenta mais ainda na época chuvosa (ARAÚJO FILHO; SILVA, 2015, p. 28), compactando o solo.

Há que se ressaltar, mesmo com toda degradação, existem regiões como a de Irauçuba, no sertão dos Inhamuns, interior do Ceará, onde ainda é possível encontrar uma pequena diversidade das espécies locais nos estratos herbáceo, arbóreo e arbustivo. De acordo com Araújo Filho e Silva (2015, p. 24), no estrato herbáceo, em que já foram identificadas até 45 espécies compondo a dieta de ovinos, destacam-se a milhã branca (*Urochloa plantaginea*), capim mimoso (*Anthephrolra hermaphrodita*), capim panasco (*Aristida adscencionis*), capim barba de bode (*Cyperus compressus*), quebra panela (*Alternanthera* sp), cabeça branca (*Telanthera* sp), vassourinha de botão (*Borreria verticilata*), cunhãzinha (*Centrosema brasilanum*) e mata pasto (*Senna tora*).

O componente arbustivo arbóreo, por sua vez, é predominado pelo pau branco (*Auxemma oncolcalyx*), catingueira, (*Caesalpinia bracteosa*), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*), aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), imburana (*Commiphora leptophloeos*), marmeleiro (*Croton sonderianus*), jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) e pinhão (*Jatropha mollissima*). Vastas áreas estão recobertas por um disclímax, predominadas pelo marmeleiro (*Croton, sonderianus*), nas melhores manchas de solo, e pela jurema preta (*Mimosa tenuiflora*), nas áreas com restrições edáficas, principalmente em fertilidade e drenagem. Entretanto, as áreas compostas por Argissolos, Neossolo Litólico e Luvissoles apresentam uma cobertura arbustiva-arbórea formando um verdadeiro mosaico de diferentes estádios sucessionais, em virtude das práticas agrícolas ambientalmente agressivas (ARAÚJO FILHO; SILVA, 2015, p. 24).

Segundo Araújo Filho, Cavalcante e Silva (1999, p. 13 e 14), atualmente a atenção tem sido dirigida para o uso intensivo de sistemas de manejo de pastagem referidos como: curta duração, tempo controlado ou rápida rotação; todos operados sob princípios similares e que têm sido propostos por oferecerem benefícios ao animal, à pastagem e ao produtor.

Os autores acima frisam ainda que é fundamental a adoção do manejo de pastagem ecologicamente saudável, com respeito à conservação dos recursos forrageiros da pastagem, através da manipulação, do enriquecimento da fertilização da caatinga e do ajuste da carga animal.

A agricultura também é uma atividade cuja relação entre o homem e a terra se estreita. Mesmo em pequenas parcelas, ainda se planta culturas tradicionais como milho e feijão. Segundo IBGE (2006), os números de estabelecimentos produtores de milho e feijão foram quantificados em 1091 e 834 unidades, respectivamente. No entanto, em regiões como a do semiárido, para as famílias rurais sobreviverem em função da terra é uma tarefa cada vez mais difícil, principalmente por causa da escassez de água na maior parte do ano.

Essa realidade é perceptível não só em Irauçuba, mas também em todo o Brasil. Pesquisas como a de Medina *et al.* (2015, p. 394) revelam que os agricultores brasileiros enfrentam um contexto institucional não favorável com apenas 12,77% beneficiados por políticas agrícolas e 68,26% com acesso à eletricidade. Como consequência, apenas 33,81% adotam tecnologias básicas, tais como a fertilização do solo, não mais do que 24,46% são altamente integrada em mercados e apenas 5,45% pertencem a cooperativas.

O estudo revelou ainda que 83,07% das explorações agrícolas familiares têm terras suficientes para ser competitivas; somente 42,92% dos chefes de família começaram a freqüentar a escola primária; e 62,31% dos domicílios têm uma renda total de menos de um salário mínimo. Tais resultados sugerem um abismo entre a situação presente e aquele necessário para a agricultura familiar realizar o seu papel potencial na redução da pobreza, segurança alimentar e crescimento econômico (MEDINA *et al.* 2015, p. 394).

O crescimento econômico também pode ser computado mediante à extração madeireira. De acordo com o IBGE (2010), em relação à extração legalizada de madeira no município de Irauçuba, por exemplo, a produção de carvão e o corte para lenha estabilizaram entre os anos de 2004 a 2011, girando em torno de 71 toneladas com um custo variável de R\$ 11.000,00 a 23.000,00 ao ano. Mas outra parcela da população não consegue lucros significativos nem na agricultura, pecuária ou extração de madeira.

O agropecuarista ou agricultor, achando-se em meio às dificuldades, na sua maioria, preferem trocar o campo pela cidade (êxodo rural), em busca de uma qualidade de vida muitas vezes não encontrada no meio urbano e arrendam suas terras para outras famílias trabalharem. O problema é que os arrendatários não estão preocupados com a vegetação nativa que é fortemente dizimada, dando lugar a grandes áreas desmatadas, sem cobertura vegetal suficiente para proteção do solo.

O êxodo rural em si é um indicativo de desestabilidade da vida no campo e sua progressão pode levar o aumento desordenado de pessoas na zona urbana, o que afeta a política de planejamento urbano. Segundo Mota (2003, p. 29), essa progressão aumentou ao longo do tempo, onde a zona urbana em 1970 representava somente 19% de toda a população do município e em 2003 representou 56% da população atual.

Uma das formas de reduzir essa migração do campo para a cidade é dando condições que melhorem a qualidade de vida do homem na zona rural. Os programas assistencialistas têm sido implantados dentro dessa premissa, por meio dos benefícios do bolsa família, bolsa escola, seguro safra, aquisição de alimentos (PAA), alguns programas de crédito rural e de construção de cisternas de placas. Machado, Dias e Silva (2017, p. 95) enfatizam que as cisternas são consideradas Tecnologias Sociais Hídricas, entendidas como soluções desenvolvidas e/ou aplicadas em interação com a população local e apropriada por ela.

Como medidas imediatistas, o governo injeta dinheiro, enviando carros-pipa, instalando mais cisternas, fornecendo seguro safra, etc. A população também se utiliza de alternativas de sobrevivência, não exclusivamente da terra, tais como aposentadorias, pensões, rendas dos emigrantes e trabalho temporário em lavouras nas propriedades de terceiros. Não é sem razão que nos momentos de irregularidade de chuvas ocorridos nos anos recentes, as tradicionais frentes de emergência (como são chamados os programas assistenciais do governo) alistam enorme número de agricultores e essas medidas passam a ser prioridade do governo federal (COUTINHO *et al.*, 2013, p. 12).

Os objetivos desses programas são vários, tais como: motivação para acreditar que é possível viver na própria terra, redução do êxodo rural, estímulo para a educação familiar e, principalmente, injeção de dinheiro na economia local e melhoria da qualidade de vida das pessoas de baixa renda. Diante disso, iniciativas do governo federal foram objetos de estudo

para implementação do Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Ceará (PAE-CE).

Apesar de tais ajudas do governo federal para com as famílias rurais da região de Irauçuba e de outras áreas, o problema da desertificação continua aumentando e todo esse processo é consequência, em sua maioria, pela forma que o homem trabalha a sua terra, ou seja, de forma errônea.

Para tanto, foi realizado um levantamento das políticas setoriais, programas e ações, com o intuito de identificar, no âmbito dos governos federal, estadual e municipal, ações relevantes que auxiliassem na implementação da política de combate à desertificação (PAE-CE, 2010, p. 140). Ações como estas podem ser vistas no programa bolsa família que são descritas com os objetivos de:

[...] combater a fome e promover a segurança alimentar e nutricional; combater a pobreza e outras formas de privação das famílias; promover o acesso à rede de serviços públicos, em especial, saúde, educação, segurança alimentar e assistência social; e criar possibilidades de emancipação sustentada dos grupos familiares e desenvolvimento local dos territórios (PAE-CE, p. 141).

Combater a instabilidade social, ambiental e econômica pode ser uma das formas de melhorar a qualidade de vida das famílias no campo, aumentando a sua permanência no meio rural. Para tanto, necessita-se de mais incentivos aos sistemas produtivos que promovam a sustentabilidade, podendo-lhes promover maiores ganhos de produtividade, bem como de alimentos para as famílias e animais.

3.2.3 Sustentabilidade dos sistemas produtivos em ambiente degradado

O aumento da produtividade agropecuária se sustenta na incorporação de insumos e técnicas produtivas, sendo muitos deles degradantes da natureza e da saúde humana. Essa preocupação alimentou o desejo de desenvolver sistemas produtivos menos degradantes (agricultura sustentável), o que resultou no surgimento de várias correntes de produção de base ecológica (CAPELLESSO; CAZELLA, 2013, p. 2297).

Alguns sistemas de produção se destacam no ambiente de semiaridez da região Nordeste, a saber: sistemas extensivos tradicionais, sistema integrado de produção experimental (SIPRO), sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e sistema capim buffel-leque de forrageiras (CBL). Alguns destes desenvolvidos pela Embrapa

Semiárido, como o SIPRO e o CBL (MEDEIROS, 2014, p. 11). A escolha dos sistemas de produção vai depender do tipo de animal criado e da oferta de alimento na área.

Em Irauçuba o sistema mais comum é o extensivo tradicional. Nesse tipo de sistema, a base alimentar é a vegetação nativa, que segundo Medeiros (2014, p. 11), permite ganhos de peso de animais moderados durante a época chuvosa do ano e perdas de peso durante a estação seca. Por isso, o ideal é que o produtor tenha uma reserva proteica e de volumoso por meio do feno ou da silagem para garantir a sobrevivência dos animais em épocas secas. Muitas das vezes isso não acontece, e os animais são obrigados a migrarem para áreas com maior oferta de alimento, saindo mais oneroso para o produtor.

A baixa produtividade dos rebanhos é, em parte, reflexo das carências nutricionais a que estão submetidos. Este fato está associado à baixa disponibilidade e qualidade das forragens ao longo do ano, em função da elevada variabilidade das chuvas, da baixa capacidade de suporte forrageiro das caatingas, do manejo e aproveitamento inadequado das pastagens, além do reduzido uso de tecnologias de convivência com as secas (LEITE *et al.*, 2014, p. 193).

Por outro lado, em ambientes muito degradados, é salutar um cuidado maior com a vegetação nativa que é o principal alvo da alimentação no sistema extensivo tradicional. Trata-se de ambientes cujo restante de Caatinga apresenta-se como extremamente relevantes para a manutenção do equilíbrio ecossistêmico. Tal destruição da vegetação nativa compromete ainda o potencial e a variabilidade atual e futura do manejo florestal na região semiárida (FERNANDES *et al.*, 2015, p. 481).

Nesse contexto, a busca pela sustentabilidade tem sido alvo de alguns estudos (ALTIERI, 2001; BIONDO *et al.*, 2007, p. 686; LOPES; LOPES, 2011, p. 1). Segundo Gliesman (2000, p. 54), a sustentabilidade é uma versão do conceito de produção sustentável, ou seja, é a condição de colher a biomassa de um sistema sem comprometer a sua capacidade de ser renovada.

Enquanto isso, a agricultura nordestina apresenta outros problemas e desafios, que vão da reforma agrária às queimadas; do êxodo rural ao financiamento da produção; da infraestrutura de escoamento da produção à viabilização econômica da agricultura familiar: envolvendo questões políticas, sociais, ambientais, tecnológicas e econômicas (CASTRO, 2012, p. 8). O autor ainda ressalta que

o grande desafio para o desenvolvimento da agricultura regional é promover, pouco a pouco, melhorias no seu sistema produtivo que transponham essas limitações. Faz parte, disso tudo, promover a inclusão da agricultura familiar em um sistema de produção moderno e eficiente, com acesso a crédito, assistência técnica e insumos (CASTRO, 2012, p. 40).

Dessa forma, há uma grande necessidade de se utilizar sistemas agropecuários sustentáveis ou agroecossistemas que permitam ao agricultor utilizar os recursos naturais de modo consciente, isto é, conservando-os para as gerações futuras. A agricultura, por sua vez, se classifica em: convencional (agricultura moderna) que envolve o monocultivo, uso de agroquímicos, fertilizantes industriais, cujo cultivo em larga escala é próprio de grandes produtores; a agricultura familiar, que envolve diversos tipos de sistemas produtivos em pequena escala e pode se associar aos cultivos: orgânico, biodinâmico e agroecológico. Outro tipo de agricultura é a biológica que utiliza o controle biológico. Enfim, introduzir um sistema de produção agrícola sustentável continua sendo um desafio para grandes e pequenos produtores.

Por isso, a sustentabilidade nos sistemas agrícolas FL é uma preocupação para alguns pesquisadores (MEIRELES *et al.*, 2011, p. 85; LEITE *et al.*, 2014, p. 195). Meirelles *et al.* (2011, p. 85), em seu estudo, propõem um estudo a respeito de indicadores agrícolas, ambientais e sociais. Nesse sentido, a agricultura orgânica e/ou agroecológica também pode ser utilizada para promover a sustentabilidade no processo de implantação dos sistemas agrícolas.

A agricultura orgânica diferencia-se da agricultura convencional por ser socialmente justa, ecologicamente correta, e economicamente viável, procura promover a saúde dos seres humanos e o equilíbrio ambiental, preservar a biodiversidade, os ciclos e as atividades biológicas do solo. Enfatiza também o uso de práticas de manejo excluindo a adoção de agroquímicos assim como outros materiais que realizam no solo funções estranhas às desempenhadas pelo ecossistema, procurando utilizar os recursos locais, obtendo assim a máxima reciclagem dos nutrientes (BARROS & SILVA, 2010, p. 95).

A satisfação ou insatisfação do agricultor com a qualidade do solo pode ser avaliada por meio de questionários metodológicos ou por avaliações participativas diretamente no local do experimento. Esse tipo de avaliação mostra o nível de satisfação do agricultor por meio qualitativo ou quantitativo. Essa é uma forma de mostrar o quanto é

importante, não só implantar o experimento na propriedade do agricultor, mas mostrar a sua relação com o ambiente e se isso promove algum ganho positivo para o seu bolso.

3.2.4 Qualidades do solo e do ambiente numa visão interdisciplinar: caso Irauçuba

É muito comum encontrar no município de Irauçuba, solos que apresentam elevados níveis de degradação e se encontram em processo de desertificação. A qualidade desses solos geralmente é considerada baixa, uma vez que a maioria está completamente desprovida de cobertura vegetal, o que os tornam suscetíveis aos processos erosivos, reduzindo, portanto, sua qualidade em termos de fertilidade e de propriedades físicas, químicas e biológicas. Segundo Andrade e Stone (2009b, p. 383), a qualidade física assume importância na avaliação do grau de degradação do solo e na identificação de práticas de uso sustentáveis.

Outro fator importante é que essa qualidade diminui quando o material orgânico é removido do solo por meio da erosão hídrica ou quando sua decomposição é acelerada e perdida por lixiviação. A baixa cobertura pode ser atrelada à intensa intervenção antrópica, seja pelas queimadas, seja pelo desmatamento, o que interfere negativamente no acúmulo de material que contribui para a proteção do solo.

O Bioma Caatinga tem enorme diversidade de plantas, que durante o período seco do ano deposita no solo quantidade significativa de sua parte aérea, formando a serapilheira, que em alguns sistemas produtivos constitui a principal fonte de transferência de nutrientes para o solo (SOUZA *et al.* (2017, p. 5). Com isso, o uso da serapilheira de espécies da Caatinga, na recuperação de solos degradados, é uma alternativa interessante por contribuir para o retorno de nutrientes para o solo e favorecer a ciclagem de elementos e a melhoria da fertilidade (PRIMO *et al.* 2018, p. 74). Além disso, a serapilheira promove a cobertura do solo pelo acúmulo de material orgânico em sua superfície.

Esse acúmulo de material orgânico pode ser elevado também pelos sistemas de cultivo que promovem o aumento da cobertura vegetal, a diversidade microbiana no solo e o uso de plantas com boa cobertura vegetal, aportando mais carbono para o solo e melhorando a ciclagem de nutrientes no ambiente a que se propõem melhorias físicas, químicas e biológicas. Nessa ótica, podem ser consideradas as forrageiras e leguminosas ou o consórcio de plantas alimentares para o homem e os animais, como as graníferas (sorgo, milho, feijão e fava).

O uso de leguminosa na adubação verde, além de oferecer matéria prima para a silagem na alimentação animal, melhor cobertura edáfica, também aumenta o aporte de matéria orgânica e de biomassa dentro da camada subsuperficial do solo. Cavalcante *et al.* (2016, p. 6) afirmaram que a inclusão da leucena tem impacto positivo no solo pela produção de biomassa quando a mesma é incorporada, acelerando seu processo de decomposição pelos microrganismos ali presentes.

A matéria orgânica será facilmente decomposta se tiver baixa relação C/N e se estiver aliada às condições de elevadas temperaturas e radiação solar. Tal processo pode ser acelerado na presença de elevada umidade em épocas de chuva, principalmente em dias cujos raios solares se intensificam, dando início ao fenômeno chamado de fotodegração (degradação de moléculas orgânicas na água pela ação da radiação solar). Porém, é necessário que os compostos presentes no material orgânico estejam altamente biodisponíveis e, segundo Amaral (2010, p. 5), essa alta biodisponibilidade pode ser obtida tanto pela degradação bacteriana, quanto por reações fotoquímicas.

Baseadas na premissa de conservação e uso do solo, técnicas conservacionistas como adubação verde, uso de cobertura morta e rotação de culturas têm sido alvos de uma agricultura mais sustentável. Com isso, os produtores agrícolas têm procurado os meios que levam à aplicação de práticas que respeitem a qualidade ambiental, tendo em vista que, tecnologias que preservam a “saúde do solo” estão intimamente relacionadas com a manutenção da qualidade do ambiente. O uso e manejo adequado do solo, portanto, é algo que se faz necessário para manter tal qualidade (SILVA 2013, p. 16).

Em contrapartida a esta premissa, a agropecuária enfrenta desafios constantes em função do aumento da demanda por alimentos. Portanto, práticas sustentáveis e ambientalmente menos degradantes são necessárias à manutenção de patamares satisfatórios de produtividade, principalmente do recurso solo. Assim, surge a necessidade de investimentos em forma de fertilização, conservação e manutenção das propriedades do solo (SOUZA *et al.*, 2016, p. 1), o que devem ser aplicados para proporcionar a sua qualidade.

Para trabalhar o solo no contexto qualitativo é necessário conhecer o conceito de qualidade do solo. Um dos conceitos mais difundidos e usados até hoje é o de Doran e Parkin (1994) que define qualidade do solo como:

“a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a

qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens” (DORAN; PARKIN, 1994, p. 20).

Há que destacar que a ocorrência dos Planossolos em Irauçuba está associada à intensificação da semiaridez. São solos fortemente erodidos em face da atividade de pecuária e de extrativismo, com escassa ou nenhuma cobertura vegetal, afetados pela incidência de erosão hídrica laminar que tem propiciado o adelgaçamento dos horizontes superficiais arenosos, a pedregosidade dos solos e a frequência de afloramentos rochosos e de pavimentos detríticos (OLIVEIRA; SOUZA, 2015, p. 50). Esta classe de solo, por sua atual e constante degradação, seja natural ou antrópica, precisa-se ainda mais de atenção do ponto de vista de avaliação e monitoramento qualitativo de suas propriedades edáficas.

Estudar a qualidade do solo é uma iniciativa fundamental em áreas degradadas, principalmente quando envolve coquetéis (misturas) de resíduos triturados dentro de um agroecossistema. Tais resíduos podem ser aproveitados de materiais da própria região e funcionam como cobertura vegetal morta, podendo trazer benefícios à qualidade desse solo e a redução de custos ao produtor.

Um dos propósitos de se usar a cobertura vegetal é mostrar ao agricultor que existem alternativas de melhoria da qualidade do solo que são economicamente viáveis, uma vez que o produtor não necessita gastar com insumos extras, já que estes são encontrados na sua propriedade. Assim, a relação socioeconômica desse trabalho pode ser considerada positiva, no que diz respeito à economia que traz ao bolso do agricultor, bem como à agregação do conhecimento à comunidade local.

Outro propósito é de promover a educação daqueles que vivem no campo e usam a terra em benefício próprio, mostrando-os que o solo interfere no ambiente de forma holística nas demais questões socioambientais, econômicas e culturais. E quando essas questões são trabalhadas de forma conjunta, promove a busca pela sustentabilidade no processo de aprendizagem. Mota (2003, p. 36), faz uma referência a esse tipo de educação e relata que

Para um futuro que contemple o desenvolvimento de uma sociedade sustentável é imprescindível uma educação holística que faça a sociedade se sentir responsável pelo hoje e pelas gerações vindouras, uma educação que não seja excludente, mas que esteja pautada em valores que edifiquem, que resgatem a cidadania, que encorajem pessoas a lutar por uma vida digna para a coletividade (MOTA, 2003, p. 36).

Ainda é preciso mais políticas que fomentem a educação no campo para conscientizar o homem enquanto protagonista no intuito de conservar o ambiente em que

vive. As políticas voltadas à proteção ao solo e preservação de suas propriedades é uma das formas de fomentar a educação pela etnoconservação, também conhecida como gestão comunitária dos recursos naturais renováveis (AGRIPA, 2002, p. 55).

Outra forma de agregar conhecimento ao homem do campo é estudar com ele as diferenças entre os tipos de solo, como os aluvionais e os das terras baixas, por exemplo, que comumente são utilizadas no plantio morro abaixo, no mesmo sentido da água da chuva, favorecendo a erosão. Em cima desse assunto, é recomendável um foco maior sobre uso de curva de nível, cordões de pedra e outras formas de plantio que reduzam a força da enxurrada pela chuva, evitando o avanço da erosão na área. Tudo isso é possível se houver um estudo etnoconservador das instituições de pesquisa e extensão, articuladas com o pequeno produtor rural.

Um conceito mais completo de etnoconservação é dado por Silva Júnior (2009, p. 90), o qual explica que esse termo se configura como uma proposta político-acadêmica que, de maneira geral, defende a ação conservacionista a partir de uma implicação indissociável entre populações tradicionais e ecossistemas. O autor conclui dizendo que se trata de uma gestão compartilhada dos recursos naturais entre Estado, entidades ambientalistas e populações locais.

A etnoconservação, portanto, pode se dizer que é de extrema importância não somente para “populações tradicionais”, de onde o termo teve sua origem (PEREIRA; DIEGUES, 2010, p. 38), mas também para comunidades rurais que vivem em situações de desigualdade social e, ainda, enfrentam outros problemas de cunho ambiental e econômico, sendo a desertificação um fator potencializador desses problemas, inclusive em anos de secas prolongadas.

Um estudo feito pelo PAE-CE identificou que nas Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) a escolaridade da população, mais especificamente a proporção de pessoas alfabetizadas em relação a não alfabetizadas e a taxa de analfabetismo, é um fator importante de predisposição à desertificação. Naquelas localizadas nos Sertões de Irauçuba e Centro-Norte a desigualdade, representada pela contribuição do indicador proporção de grandes propriedades em relação à área rural é um fator a ser discutido na elaboração de políticas públicas (PAE-CE, 2010, p. 123).

Essas informações são importantes do ponto de vista de se estudar indicadores de sustentabilidade e de qualidade do solo no mesmo contexto para trazer informações adicionais

às comunidades que vivem em regiões de solos degradados localizados em áreas em processo de desertificação.

De acordo com Ferreira (2005, p. 28), dados analíticos de qualidade do solo podem ser correlacionados com dados qualitativos, visando uma avaliação mais ampla dos sistemas de produção e do desempenho ambiental destes sistemas, mesmo que, sua avaliação esteja, em um primeiro momento, restrita aos aspectos do meio físico. Estas informações podem auxiliar o agricultor e o técnico na compreensão da capacidade produtiva e na tomada de decisões relacionadas ao manejo dos agroecossistemas.

Outras formas de avaliação que se pode realizar sobre como se encontra o ambiente (qualidade do solo) se faz pelos indicadores físicos, os quais se determinam por meio de amostras de solo coletadas em campo e analisadas em laboratório. Tais indicadores podem ser de ordem física: densidade do solo, densidade de partícula, porosidade, infiltração e condutividade hidráulica, índice S e permeabilidade ao ar; como também de ordem química: carbono orgânico total e percentual de matéria orgânica no solo.

É importante salientar que ambos indicadores são importantes no estudo da geometria porosa do solo, uma vez que afetam direta ou indiretamente seu comportamento. É válido também informar que cada indicador não funciona de forma isolada, mas todos funcionam numa relação mútua. Por isso, explicar cada um individualmente pode gerar erros nas interpretações.

3.2.5 Indicadores físicos de qualidade do solo

3.2.5.1 Infiltração de água no solo

A infiltração da água no solo é definida como sendo um processo dinâmico de penetração vertical da água através da superfície do solo (PAIXÃO *et al.*, 2004, p. 2). De acordo com esses autores, é primordial o conhecimento referente à taxa de infiltração da água no solo, uma vez que pode ser usado para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo.

A infiltração de água no solo deve ser quantificada por meio de métodos simples que possibilitem a representação adequada das condições naturais em que se encontra o solo, uma vez que essa variável pode sofrer influência, direta e indiretamente, de uma série de fatores: conteúdo inicial de água, condições da superfície do solo, condutividade hidráulica do solo saturado, distribuição de tamanho e volume de

poros, presença de horizontes estratificados, distância entre suprimento e umedecimento, textura e tipo de argila (PAIXÃO *et al.*, 2004, p. 2).

Vários métodos são propostos para a quantificação da infiltração. Destes são citados: o método do infiltrômetro do anel e o permeâmetro de Guelph (ou Permeâmetro de Carga Constante), para medição indireta da infiltração, conforme foi utilizado por Scherpinski *et al.* (2010, p. 7). Outro aparelho muito utilizado é o infiltrômetro de tensão que determina o fluxo de água através dos macroporos do solo (POTT; DE MARIA, 2003, p. 21).

A redução na infiltração da água no solo pela compactação induz ao escoamento superficial, cujo movimento proporciona o carreamento de partículas de sedimento e intensifica o processo de erosão hídrica, reduzindo a qualidade desse recurso. A compactação, por sua vez é provocada pelo tráfego excessivo de máquinas, a pressão ocasionada pelo sobrepastejo, bem como o uso intensivo de uma mesma área sem o devido pousio. De acordo com Almeida e Araújo (2015, p 206) a forma mais comumente usada para recuperação de áreas degradadas é o pousio. Nele o fator mais relevante de recuperação da fertilidade do solo e da cobertura vegetal é o próprio poder de resiliência do solo.

Um solo alterado estruturalmente pode ter a taxa de infiltração afetada positiva ou negativamente. Nos solos de Irauçuba, a compactação maior é provocada pelos animais em condição de sobrepastejo. Para um solo em condições de compactação, a infiltração da água da chuva é reduzida e, assim, há um aumento do escoamento superficial, intensificado pela maior declividade do terreno e a presença reduzida de matéria vegetal na superfície do solo (MIGUEL; VIEIRA; GREGO, 2009, p. 1513).

As características das espécies vegetais, como o tipo de raiz e de folha, o ângulo de disposição das folhas em relação ao colmo, a quantidade e espessura dos colmos e o hábito de crescimento das plantas, influenciam na dinâmica da água no solo. As raízes, por exemplo, apodrecem formando canais, que auxiliarão na condução da água em profundidade. Folhas mais eretas captam mais água, conduzindo em direção ao colmo/tronco fornecendo água na zona radical (KLEIN & KLEIN, 2014, p. 3914).

Nesse sentido, é preciso lançar mão de técnicas que reduzam os efeitos deste processo. A cobertura por resíduos culturais e a rugosidade superficial induzida por métodos de preparo constituem as condições físicas de superfície do solo mais importantes do ponto de vista de redução da erosão hídrica (CASTRO; COGO; VOLK, 2006, p. 339), uma vez que melhora a qualidade estrutural e a taxa de infiltração da água no solo.

3.2.5.2 Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica, assim como a infiltração, é um dos parâmetros de qualidade física do solo que está relacionado com a dinâmica da água. É definida como a maior ou menor facilidade com que a percolação d'água ocorre através de um solo (PAZZETTO, 2009, p 17). Dessa forma, o movimento hídrico só ocorre devido à permissibilidade do solo em deixar a água atravessar o seu espaço poroso.

A macroporosidade é a propriedade que mais interage com a condutividade hidráulica. Ambas dependem da estrutura do solo e, quando dependem do mesmo espaço poroso, é de se esperar que haja uma correlação entre elas (MESQUITA; MORAES, 2004, p. 964). De maneira similar a densidade, quando se altera a estrutura do solo a porosidade também é afetada (ANDRADE; STONE, 2009b, 383), interferindo significativamente no comportamento da condutividade hidráulica.

Apesar dos questionamentos sobre qual método deve-se utilizar ainda se usa tanto os métodos diretos como os indiretos. Os métodos indiretos expressam uma relação entre condutividade hidráulica e as propriedades do solo (distribuição do tamanho dos poros, textura, porosidade drenável e densidade do solo). Nos métodos diretos, a condutividade hidráulica do solo pode ser determinada em condições de laboratório e de campo (MARQUES *et al.*, 2008, p. 194).

Os métodos de laboratório apresentam vantagens na facilidade de execução e na rapidez, no entanto são desvantajosos por promoverem alterações na estrutura (métodos destrutivos). Já os métodos de campo são mais representativos, porém os mesmos esbarram na grande variabilidade espacial do solo, relatada por Grego e Vieira (2005, p. 170), com reflexos nas características físico-hídricas deste.

O infiltrômetro de tensão, assim como para a infiltração, tem sido usado para medir a condutividade hidráulica no solo. Segundo Ankeny e Horton (1996, p. 205), o infiltrômetro de tensão é útil na avaliação do efeito de diferentes práticas de manejo agrícola por meio de parâmetros que ocasionam alterações na estrutura porosa do solo, bem como nas propriedades hidráulicas.

Baseado no pressuposto da grande variabilidade apresentada pela condutividade hidráulica frente às alterações de manejo e às características intrínsecas ao solo, o conhecimento do comportamento dos atributos físico-hídricos deste torna-se uma premissa básica quando se pretende estabelecer práticas de manejo adequadas de solo e de culturas,

pois a não observância desses conceitos ocasionará erros na amostragem e manejo do solo (CAMPOS *et al.*, 2007, p. 85), afetando a sua qualidade.

Assim como na infiltração a compactação do solo em Irauçuba é ocasionada pelo intenso tráfego de animais em pastejo extensivo, podendo reduzir a capacidade do solo em conduzir água pelos seus poros. Nesse caso a escarificação mecânica pode ajudar na descompactação superficial do solo, a depender da condição do produtor. O revolvimento do solo pela escarificação eleva a taxa de infiltração da água nesse solo, bem como a condutividade hidráulica. Outra prática é a rotação de cultura que possibilita a diversificação de sistemas radiculares e sua ação sobre o solo (PRANDO *et al.*, 2010, p. 697) melhorando a condutividade da água pelos poros.

Em áreas de pousio essa compactação é menos visível. Souza, Romero e Ferreira (2015, p. 181) relatam que os efeitos do pousio sobre a densidade do solo e a porosidade podem não ser significativos no estágio inicial, possivelmente em razão do comportamento do solo em relação à compactação por animais, que pode ser diferente, dependendo da classe de solo, estrutura, precipitação e tipo de vegetação.

Os maiores valores na porosidade total nas áreas de pousio permitem maior taxa de infiltração de água, diminuindo a erosão e, também, melhorando a condutividade hidráulica do solo. De certa forma, as exclusões de animais da área experimental, no município de Irauçuba, indicam uma sensível melhora em relação às áreas sob sobrepastejo (SOUZA; ROMERO; FERREIRA, 2015, p. 181).

3.2.5.3 *Curva Característica de Água no Solo*

Em se tratando de dinâmica de água no solo, assim como a condutividade hidráulica, a curva característica de água no solo também é um importante indicador que auxilia nos estudos a respeito da qualidade do solo. E para entender como ela funciona é preciso que se tenha em mente alguns conceitos sobre os tipos de água interessados à física do solo, tais como: água gravitacional, água capilar e água higroscópica.

Em 1897, Briggs classificou a água do solo segundo a sua natureza. De acordo com o autor, a água gravitacional pode ser conceituada como aquela que não é retida pelo solo, podendo ser drenada, após seu encharcamento, para as camadas mais profundas, pela ação da gravidade. Em contrapartida, conceituou-se água capilar como aquela retida pelo solo devido às forças da tensão superficial, formando películas contínuas em torno das partículas

terrosas e nos espaços capilares. Por fim, o conceito de água higroscópica foi formado a respeito da água fixada por absorção à superfície dos colóides do solo e, movimentando-se apenas no estado de vapor (BRIGGS, 1897).

Outras classificações foram realizadas por Reichardt (1987) e por Boyoucos (1921). Este último classificou a água em três tipos: gravitacional, livre e disponível. Porém, o mais importante é conhecer as forças atuantes em cada tipo. Para Briggs (1897), existem duas forças principais que, segundo ele, podem ser assim chamadas: forças capilares e forças de adsorção (ou forças matriciais). De acordo com Libardi (2005, p. 108), esta última força, também conhecida como potencial mátrico recebe este nome para representar os efeitos da matriz do solo, isto é, a porção sólida do solo sobre o potencial da solução.

O potencial matricial é variável para diferentes solos e ao longo do perfil, torna-se fundamental considerar o tipo de solo, a espécie vegetal e as condições de cultivo. Solos argilosos têm a capacidade de reter mais água que solos arenosos, devido à maior área superficial específica das suas partículas e pela maior proporção de poros de diâmetros menores, os quais retêm a água a tensões superiores à capacidade de extração pelas plantas. Em outras palavras, o potencial matricial que essa água está adsorvida às partículas do solo é maior que a capacidade das plantas em extraí-la (PREVEDELLO, 2012, p. 46).

Com base no exposto, obteve-se uma definição apropriada para a curva característica de água no solo. Essa definição foi apresentada por Hillel (1998) quando propôs a relação entre o potencial mátrico (ψ_m) e o conteúdo de água no solo (θ). Para o ajuste destas curvas, van Genuchten (1980) propôs alguns parâmetros sobre a seguinte equação: $\theta = \theta_r + \{(\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha\psi)^n]^m\}$, em que: ψ é o potencial mátrico (hPa); θ , umidade em base volume ($m^3 m^{-3}$); θ_r , água residual ($m^3 m^{-3}$); θ_s (água em solo saturado, $m^3 m^{-3}$); m e n , os coeficientes do modelo obtidos no ajuste dos dados; e α : parâmetro expresso em cm^{-1} .

Em suma, outros parâmetros são determinados a partir da curva característica de água no solo, tais como: água na capacidade campo; porosidade total e o índice S. Este último faz parte do presente estudo e será descrito no próximo item para facilitar o entendimento sobre o assunto.

3.2.5.4 Índice S

O índice S é definido como sendo a inclinação da reta tangente ao ponto de inflexão da curva característica de água no solo. Está relacionado a variáveis como textura,

densidade do solo, matéria orgânica e crescimento de raízes. É determinado pela curva característica de água no solo, expressando-se o conteúdo gravimétrico de água (θ) em função da tensão de água no solo (h) após ajuste utilizando a equação de van Genuchten e o logaritmo natural da tensão da água no solo $\ln(h)$ (STEFANOSKI *et al.*, 2013, p. 1305).

Este índice vem sendo aceito como parâmetro indicador da qualidade estrutural de solos, pois representa a distribuição do tamanho de poros de maior frequência, possibilitando a comparação direta dos efeitos de diferentes práticas de manejo aplicadas sobre o solo (SILVA *et al.*, 2012, p. 338).

Os fatores relacionados com o solo (textura e estrutura) e com manejo (matéria orgânica do solo, compactação e preparo) influenciam na distribuição do tamanho de poros e refletem mudanças nos valores de S, e, portanto, na qualidade física do solo. Nesse sentido, o índice S apresenta o caráter de sensibilidade para indicar a qualidade física de um solo (SÁ *et al.*, 2010, p. 111).

Li *et al.* (2011, p. 82) referem-se ao fato de que avaliar fisicamente a qualidade do solo requer muito tempo e, portanto, o uso de um parâmetro global para essa função facilitaria a avaliação. O índice S, segundo eles, se enquadraria nessa proposta, a qual precisaria de um estudo mais aprofundado sobre o assunto, principalmente quando se leva em consideração solos com diferentes tipos de manejo.

Em função desse fato, é preciso analisar o índice S de forma adequada para não mascarar os resultados obtidos, principalmente porque o solo é um ambiente dinâmico e qualquer que seja o tipo de manejo aplicado pode afetar a sua dinamicidade e qualidade.

Quando numa área o tipo de manejo (uso intensivo de máquinas ou sobrepastejo) influencia nos fatores físico-hídricos, tais como densidade, macroporosidade, microporosidade, por consequência, o valor do índice S possivelmente é afetado, haja vista que esse índice pode correlacionar-se positivamente com tais fatores, já a microporosidade, porosidade total podem correlacionar-se negativamente com o índice S (JARDINI & AMORIM., 2017, p. 112).

Em se tratando de valores, Dexter (2004) sugeriu que valores do índice-S iguais a 0,035 deveriam ser utilizados como limite para se separar solos de boa qualidade estrutural dos solos de qualidade estrutural inferior, e que valores menores que 0,020 estariam associados com solos de péssima qualidade física. Posteriormente, Andrade e Stone (2009) concluíram que o valor limite para o índice S igual a 0,045 foi o mais adequado à divisão

entre solo de boa qualidade estrutural e solo com tendências a se tornar degradado, enquanto valores do índice S menores ou iguais a 0,025 indicam solos inteiramente degradados fisicamente.

3.2.5.5 Permeabilidade do solo ao ar

O fluxo de ar no solo detém um importante papel no processo de desenvolvimento radicular das plantas. Esse fluxo somente ocorre quando o solo apresenta uma boa permeabilidade ao ar, a qual é definida como a capacidade de transmissão da fração gasosa por meio de poros interconectados em função de um gradiente de pressão (MOREIRA *et al.*, 2011, p. 1).

A permeabilidade ao ar é um dos parâmetros bastante usados na avaliação da qualidade estrutural do solo com ênfase nos estudos sobre disponibilidade de oxigênio para as raízes das plantas.

De acordo com Silva *et al.* (2009, p. 1535):

[...] essa propriedade determina o fluxo convectivo de gases na matriz do solo e a troca de gases na interface do sistema solo-atmosfera, influenciando diretamente a qualidade do ambiente físico para o crescimento de plantas e a taxa de ocorrência de processos dependentes da concentração de gases no solo (SILVA *et al.*, 2009, p. 1535).

A pressão exercida sobre o solo pelo sobrepastejo e pela compactação, tanto em Irauçuba como nas demais áreas degradadas, aumenta a densidade e reduz a porosidade, afetando a aeração, dificultando, assim, a permissibilidade do ar pelos macroporos do solo. Em estudos realizados por Lima *et al.* (2005, p. 683), foi concluído que a compactação superficial, causada pela exploração agrícola e pelo tráfego de máquinas afetou, distintamente, a forma e a distribuição do espaço poroso.

Solos argilosos são mais suscetíveis à compactação e possuem menor capacidade de suporte de carga que solos arenosos. Os efeitos da compactação na permeabilidade ao ar se concentram, principalmente, na redução da porosidade de aeração e da continuidade de poros à medida que a densidade é maior, independentemente do conteúdo de água no solo, o que repercute negativamente nos valores de permeabilidade ao ar (MENTGES, 2014, p. 120).

Dessa forma, procurar metodologias que quantifiquem a permeabilidade do solo ao ar é um meio de visualizar até que ponto essa propriedade pode limitar o crescimento e o desenvolvimento das plantas em áreas impactadas pelas atividades agrícolas. É comum o uso

de métodos laboratoriais na determinação da permeabilidade do solo ao ar. Essa propriedade pode ser estimada por um método simplificado baseado em uma modificação da lei de Darcy para fluxo de gases no solo, submetido à pressão decrescente (SILVA *et al.*, 2009, p. 1535).

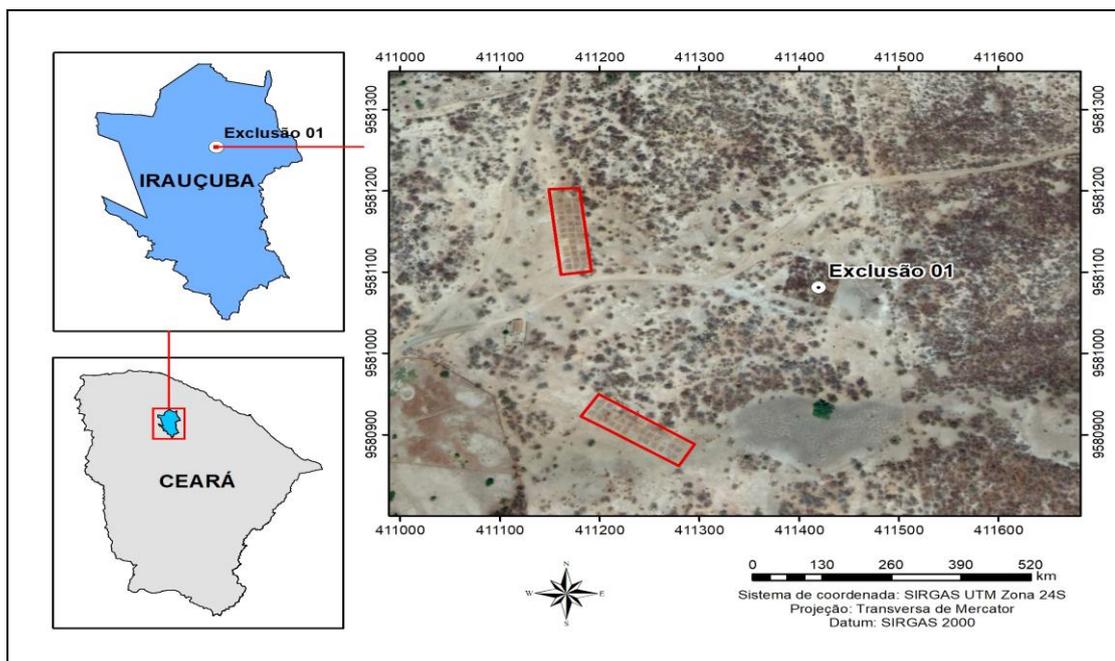
Nesse contexto, estudar questões sobre fatores de impedimento do fluxo difusivo do ar do solo implica em aliar essa informação à quantidade de ar presente no solo após o mesmo ter sofrido alterações de manejo. Dessa forma, o conhecimento pode auxiliar agricultores e pesquisadores a planejar com eficiência as exigências de manejo para a produção de uma dada cultura (RODRIGUES *et al.*, 2011, p. 107).

3.3 Material e Métodos

3.3.1 Caracterização da área de estudo

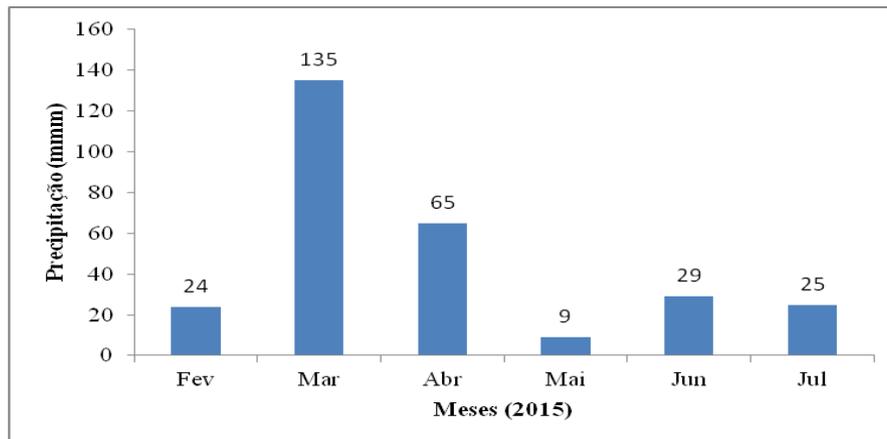
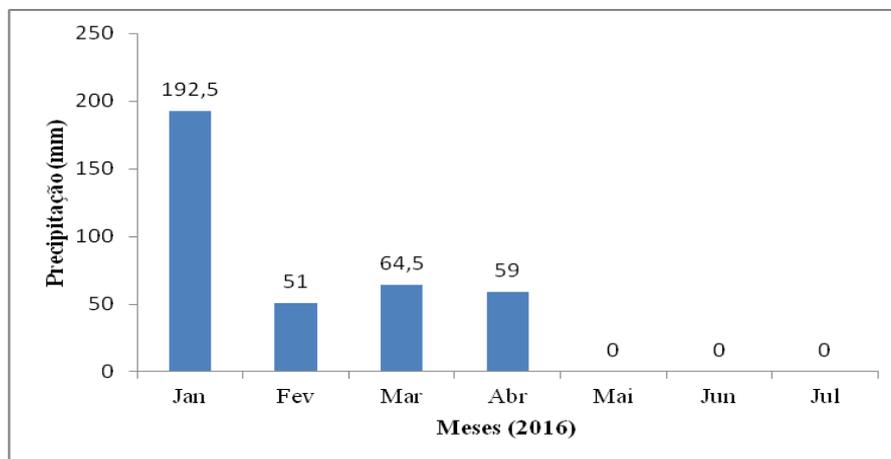
O experimento foi implantado em área degradada na fazenda Aroeira, em Irauçuba (Figura 2), município localizado na região Norte do Estado do Ceará. A região está a 152 m de altitude ao nível do mar, possui clima tropical quente e semiárido. Predominam, nessa região, solos do tipo Luvissole, Planossolo e Neossolo Litólico (IPECE, 2011, p. 5).

Figura 2. Mapa da localização da área onde se realizou a pesquisa



Fonte: Autor

A pluviosidade anual média é de 540, mm e a temperatura média anual varia de 26 a 28 °C, sendo o período chuvoso compreendido entre os meses de janeiro a abril (IPECE, 2011, p. 15). Em 2015, as chuvas se estenderam até o mês de julho (Gráfico 1), tendo o maior volume concentrado em março; a média semestral nos seis meses foi de aproximadamente 48 mm, condição comum para a região já que se encontra em condições de semiaridez. Já em 2016, o valor médio semestral foi maior do que no ano anterior (61 mm), sendo janeiro o mês com maior valor de precipitação pluviométrica (192,5 mm) (Gráfico 2). Em ambos os anos os valores permaneceram abaixo da média anual (IPECE, 2011, p. 15), tendo, na sequência, períodos secos de 6 a 8 meses, condição normalmente encontrada em regiões propensas à desertificação.

Gráfico 1. Precipitação na área experimental no período de fevereiro a julho de 2015**Gráfico 2.** Precipitação na área experimental no período de janeiro a julho de 2016

O solo selecionado pertence aos PLANOSSOLOS HÁPLICOS Sállicos, cujas amostras foram coletadas na área experimental localizada a 3°47'21,7'' de latitude sul e 39°47'51,4'' de longitude oeste.

3.3.2 Coleta de dados e tratamentos experimentais

Alguns dados foram analisados antes da implantação do ensaio, em que coletaram-se amostras para caracterização química e física nas profundidades de 0-0,10 m e 0-0,20, respectivamente. Os resultados desta avaliação estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo da área experimental.

		Granulometria												
		Areia		Silte		Argila		Classe Textural						
Prof.		Grossa	Fina	Total										
(cm)		----- g kg ⁻¹ -----												
0-10		590	270	860	29	111	Franco-arenosa							
Parâmetros Físicos do Solo														
Prof.		Ds	Dp	Pt	Mac	Mic								
(cm)		-----g cm ⁻³ -----			-----%-----									
0-10		1,57	2,58	38,98	28,66	10,32								
Parâmetros Químicos do Solo														
Prof.	pH	Na	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	m	V	PST	
cm		-----g kg ⁻¹ -----			----- mmol _c dm ⁻³ -----		-----%-----							
0-20	5,4	6,6	5	78	8	6	28	3	18,6	46,6	13,9	39,9	5,5	

*Ds: Densidade do solo; Dp: Densidade de partícula; Pt: Porosidade Total; Mac: Macroporos; Mic: Microporos

Segundo os dados apresentados na Tabela 1, os atributos apresentaram as seguintes classes de interpretação segundo Alvarez *et al.* (1999, p. 25): baixo para M.O., Ca; Al, SB, e V; muito baixo e baixo para P e m; médio para Mg, H+Al e CTC; e bom para K; o valor pH pode ser classificado como baixo e a classe textura é areia franca.

O experimento foi composto pelo uso de insumos orgânicos, sendo considerado o uso de resíduos de leguminosas, esterco bovino e bagana de carnaúba, perfazendo os seguintes tratamentos: resíduo de sabiá + esterco bovino; resíduo de sabiá + esterco bovino + bagana de carnaúba; resíduo de leucena + esterco bovino; resíduo de leucena + esterco bovino + bagana de carnaúba; resíduo de jurema + esterco bovino; resíduo de jurema + esterco bovino + bagana de carnaúba; além da testemunha sem aplicação de nenhum insumo (testemunha negativa). Adicionalmente a estes tratamentos considerou área em pousio (área de exclusão por 18 anos) próxima do experimento e na mesma classe de solo, sendo considerada testemunha positiva e neste caso foram coletadas amostras em três pontos distintos, para fins de repetição.

As parcelas apresentavam uma área total de 49 m² e a área útil desconsiderava 0,5 m de cada extremidade. Os fertilizantes de leguminosas foram preparados com o corte, secagem e moagem de galhos e folhas de leucena (*L. leucocephala*), jurema (*M. tenuiflora*) e sabiá (*M. caesalpiniaefolia*). A quantidade de leguminosas aplicada foi em base seca equivalente a 7 t ha⁻¹; aplicou-se, em base seca, uma quantidade de 10 t ha⁻¹ de esterco bovino e 6 t ha⁻¹ de cobertura morta a base de bagana de carnaúba (*C. prunifera*).

Não houve aplicação de nenhum adubo na área de exclusão já que a mesma se encontrava em pousio (cercada), com objetivo de proporcionar a resiliência das espécies locais. Considerando os baixos valores de fósforo presente na área experimental foi aplicado em todos os tratamentos, exceto na testemunha, a quantia de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, cuja fonte utilizada foi o fosfato natural de Gafsa (29% de P₂O₅). Todos os materiais foram espalhados na área total da parcela em novembro de 2014 e, posteriormente, nova aplicação foi realizada entre março e maio de 2015, em área experimental devidamente cercada por arame.

No ano de 2015 foi realizado plantio de milho na área que recebeu os adubos orgânicos, porém os baixos índices pluviométricos não permitiram verificação da produtividade.

3.3.3 Determinações

Em 2016 foram coletadas amostras de solo, a 10 e 20 cm de profundidade, para avaliação de atributos físicos e químicos do solo, respectivamente. Algumas análises foram determinadas em campo e outras no Laboratório de Física do Solo e no Laboratório de Manejo do Solo. Ambos pertencentes ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, situados no Centro de Ciências Agrárias. Todas as análises foram realizadas para avaliar a qualidade física do solo e estão descritas a seguir:

3.3.3.1 Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total

A densidade do solo (ρ_s) foi determinada pelo método da proveta. Já a densidade de partícula (ρ_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico, o qual teve como princípio, determinar o volume de álcool necessário para completar um balão volumétrico de 50 ml, contendo 20 g de solo seco em estufa. Ambos os valores foram inseridos no cálculo da porosidade total (EMBRAPA, 1997) (equação 1):

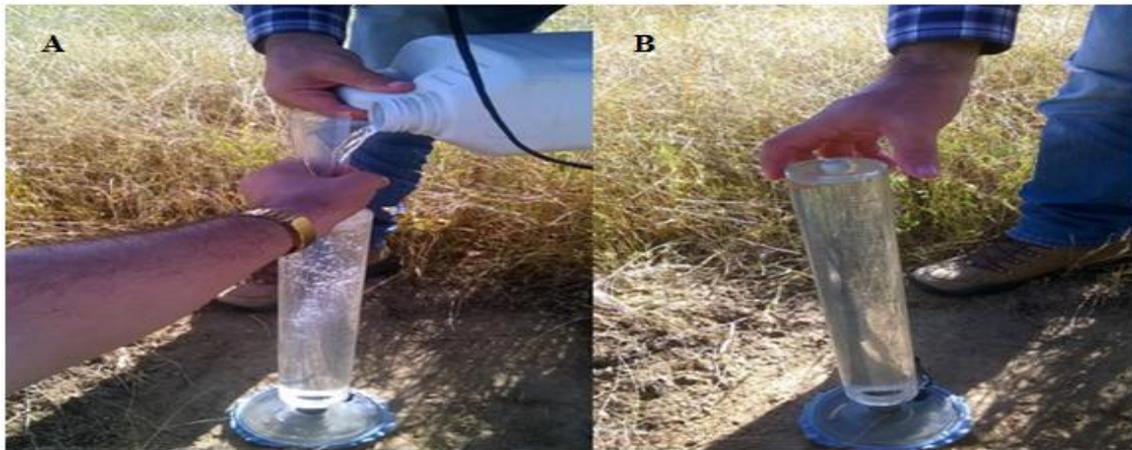
$$\alpha = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p} \right) \quad (1)$$

3.3.3.2 Infiltração de água no solo

Os testes de infiltração de água foram executados no campo a partir do Método do Infiltrômetro de Tensão (Figura 3), com o propósito de determinar a infiltração da água, e,

assim, permitir a verificação do movimento da água em solo saturado (POTT; DE MARIA, 2003, p. 21). As leituras foram finalizadas no momento em que o solo atingiu a velocidade de infiltração básica (VIB) ou taxa de infiltração constante, conforme foi descrito por Sato et al. (2012). O tempo para obtenção da VIB variou de 5 a 10 min, sendo realizado um teste por parcela. Os valores da VIB encontrados em cm min^{-1} foram transformados em mm h^{-1} .

Figura 3. Teste de infiltração usando o Infiltrômetro de Tensão em campo



*Não se usou nenhuma tensão: A (abastecimento do suporte com água) e B (niveação do aparelho)

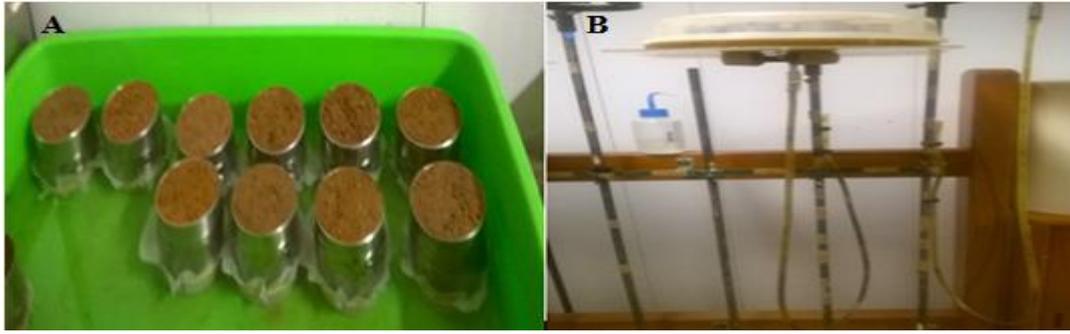
3.3.3.3 Condutividade hidráulica (K_0)

Neste trabalho, a condutividade hidráulica em solo saturado (K_0) foi obtida diretamente pelos valores da VIB (Velocidade de Infiltração Básica) em mm h^{-1} . Portanto, cada valor da VIB correspondeu ao mesmo valor de K_0 , já que as amostras foram submetidas a uma condição de saturação. Os dados foram utilizados na análise estatística para posterior discussão.

3.3.3.4 Curva característica de água no solo (CCAS)

As amostras com estrutura preservada em anéis de 5 cm foram submetidas à saturação em bandejas (figura 3) pelo mecanismo de capilaridade por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir 2/3 da altura do anel. Em seguida, foram aplicadas tensões de 2, 4, 6, 8, 10, 33, 100 e 1500 kPa. Os teores de umidade nas tensões até 10 kPa foram obtidos com o auxílio do funil de Haines (Figura 4) e as demais tensões pelo Extrator de Richards (EMBRAPA, 1997, p. 11).

Figura 4. Amostras em saturação (A) antes de serem conduzidas ao Funil de Haines (B)



Os dados do conteúdo de água do solo na classe de solo estudada foram ajustados à curva característica de água no solo, pelo modelo de van Genuchten (1980), expresso na equação 2:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s + \theta_r}{[1 + (\alpha|\phi m|)^n]} m \quad (2)$$

em que θ corresponde ao conteúdo de água (m^3m^{-3}), θ_r e θ_s são, respectivamente, os teores de água residual e de saturação (m^3m^{-3}), ϕm o potencial mátrico da água no solo (kPa), α um escalonador do ϕm ; m e n são parâmetros de ajuste do modelo relacionados ao formato da curva. Os dados foram ajustados com o auxílio do programa Table Curve 2D, versão 5.01 (Versão Trial, 2014), sendo as variáveis θ_r e θ_s fixadas com valores, respectivamente, de conteúdo de água no solo correspondente à saturação e tensão de 1500 kPa, ambos mensurados em laboratório. O ajuste dos parâmetros α , m e n seguiu o método iterativo de Newton-Raphson, sem dependência do parâmetro m com o n (DOURADO NETO et al., 2001).

3.3.3.5 Índice S

As umidades em base volume (θ_{sat} e θ_{res}), cujos valores foram fixados, foram transformadas para umidade em base massa (u_{sat} e u_{res}). Com base nos parâmetros obtidos, determinou-se o índice S em função da curva característica de água no solo (equação 3), conforme descrito por Dexter (2004).

$$S = -n(u_{\text{sat}} - u_{\text{res}}) \left[1 + \frac{1}{m}\right]^{-(1+m)} \quad (3)$$

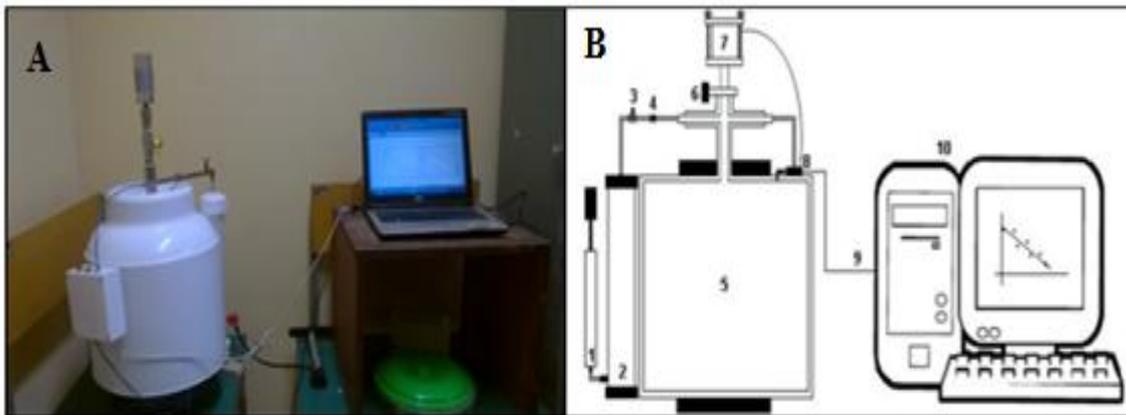
3.3.3.6 Permeabilidade do solo ao ar (K_{ar})

Para a determinação da permeabilidade do solo ao ar tomou-se como base a metodologia proposta por Kirkham (1946), em que a amostra, equilibrada nas tensões de 2, 4, 6, 8 e 10 kPa, foi encaixada no suporte de cilindro de aço; com a válvula fechada, o reservatório foi pressurizado com pressão até 1 kPa. Durante o procedimento, a válvula foi aberta, onde o fluxo de ar passou pela amostra, sendo que o decréscimo da pressão no reservatório foi finalizado após atingir o equilíbrio com a pressão atmosférica, sendo registrado eletronicamente sendo registrada eletronicamente pelo PermeAr v. 1.0 (SILVEIRA *et al.*, 2011, 432) (Figura 5). O coeficiente de permeabilidade ao ar foi determinado a partir da equação (4):

$$K_{ar} = \frac{L\eta V}{AP_{atm}} \times |S| \quad (4)$$

sendo K_{ar} o coeficiente de permeabilidade ao ar (m^2), V o volume de ar que passa pelo cilindro (m^3), η a viscosidade dinâmica do ar (Pa.s), L a altura do anel volumétrico (m), A a secção transversal da amostra de solo (m^2), P_{atm} a pressão do ar atmosférico (Pa) e S o coeficiente angular da regressão linear da pressão (\ln da pressão) em função do tempo.

Figura 5. Foto e representação esquemática do sistema de aquisição de dados



*Foto (A) e representação esquemática (B) constituída por: 1 bomba de ar; 2: cilindro de desumificação do ar preenchido com sílica-gel; 3: válvula de controle de fluxo; 4: válvula de escape para ajuste fino da pressão interna; 5: cilindro de ar; 6: válvula de controle de fluxo; 7: compartimento de alocação da amostra indeformada de solo; 8: sistema de aquisição de dados constituído por transdutor de pressão e sensores de temperatura e umidade; 9: cabo de transmissão de dados (DB 9); 10: microcomputador para processamento dos dados.

3.3.3.7 Carbono orgânico

O carbono orgânico foi determinado pelo método da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio ácido e uma fonte externa de calor para garantir a oxidação completa do carbono. Este foi misturado com sulfato ferroso amoniacal para titulação, usando como indicador o Ferroin. Utilizou-se o fator de conversão 1,724 para transformar o carbono orgânico determinado em valores de matéria orgânica (EMBRAPA, 1997, p. 86). Os valores obtidos foram caracterizados na tabela (2).

3.3.4 Análise Estatística

No presente estudo foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) e a comparação de médias foi realizada por meio de contrastes ortogonais, pelo teste F a 1% de probabilidade. Os resultados da avaliação estatística foram obtidos pelo programa SAS® Edição Universitária (SAS INSTITUTE, 1996).

3.4 Resultados e Discussão

3.4.1 Carbono Orgânico

Os insumos aplicados estão representados na tabela 2 com as quantificações médias de C, Lignina, N, relações C/N e Lignina/N. Como é possível observar, os valores médios de carbono (C) e nitrogênio proporcionaram uma relação C/N baixa do material usado nas misturas constituintes dos tratamentos na tabela 3. Isso facilita a rápida decomposição do material, sendo essa decomposição mais lenta para os compostos cuja presença de lignina é alta, o que não foi o caso deste estudo, em que a proporção de lignina/N é considerada elevada.

Tabela 2. Valores médios de carbono, nitrogênio, lignina, relação C/N e relação Lignina/N dos insumos aplicados

Insumos	C	Lignina	N	C/N	Lignina/N
Resíduo de Jurema	468	196	18,2	25,7	10,8
Resíduo de Sabiá	472	235	17,2	27,5	13,7
Resíduo de Leucena	453	146	18,6	24,4	7,9
Esterco Bovino	271	128	17,2	15,8	7,5
Bagana de Carnaúba	431	277	23,5	18,4	11,8

Os teores de carbono orgânico total (COT) das misturas (chamadas de coquetéis) que compuseram os tratamentos estão descritos na tabela 3. Nesse caso, o maior valor médio de carbono deixado sobre o solo, haja vista que não houve incorporação do material foi do tratamento com a presença de leucena, esterco bovino e bagana de carnaúba. Essa análise foi realizada dois anos após a aplicação do resíduo sobre o solo. Neste período houve baixos índices de precipitação significativos, não havendo umidade suficiente para acelerar o processo de decomposição e o aumento mais expressivo de C no solo (nas áreas com adubação orgânica).

Em contrapartida, os processos de agregação não ocorreram porque o solo da área apresenta uma proporção de areia elevada (861 g kg⁻¹) e uma baixa área de superfície específica, dificultando a formação de agregados. Em uma aplicação contínua de esterco bovino em pelo menos dois anos, Galvão, Salcedo e Oliveira (2008, p. 102) avaliaram um solo cujo teor de areia (860 g kg⁻¹) foi similar ao desta pesquisa (Tabela 1). Os autores observaram que os teores de C e N não apresentaram aumentos significativos, mas houve acréscimo, o que estreitou a relação C/N nas áreas adubadas, em relação às não adubadas.

A relação das proporções de C e N no material orgânico determina a velocidade de decomposição do material orgânico. De acordo com McCauley, Jones e Oson-Rutz (2009, p. 10) a relação C/N da matéria orgânica afeta a atividade dos microrganismos e as taxas de decomposição subsequentes. Os materiais orgânicos com proporções de carbono/nitrogênio maior que 30/1 (por exemplo, os cereais), geralmente se decompõem lentamente e tendem a se acumular, enquanto aqueles com carbono/nitrogênio inferior a 24/1 (por exemplo, as leguminosas em geral) se decompõem rapidamente.

Neste estudo, parte do carbono permaneceu na superfície do solo, a 20 cm de profundidade, mesmo após dois anos de decomposição, como pode ser constatado na tabela 3. Isso é possível quando na sua composição há presença elevada de lignina (Tabela 2). Nestas proporções, a lignina dificulta a decomposição da matéria orgânica, elevando o teor de C no solo, principalmente neste trabalho, cujo tempo foi considerado insuficiente para destruir as partículas mais resistentes do material. Esta substância também foi analisada por Galvão, Salcedo e Oliveira (2008, p. 102) em seu estudo e, segundo eles, deve ter contribuído com os acréscimos de C observados ao longo do tempo.

É possível que a rápida decomposição da fração lábil do resíduo orgânico tenha ocorrido em função da sua baixa relação C/N que variou entre 15,8 a 27,5 (tabela 4). Porém, isso só poderia ter uma explicação mais clara mediante as análises de fracionamento da matéria orgânica, para verificar que tipo de fração realmente atuou no processo de agregação.

A intensificação desse processo ocorreu em função das condições de temperaturas elevadas, comumente apresentadas no local. Silva et al. (2009) afirmam que material de baixa relação C/N induz a degradação intensa pelos microrganismos. Essa característica aliada à temperatura fornecem condições favoráveis à rapidez deste processo.

Tabela 3. Valores médios de nitrogênio (N) e carbono (C) de um Planossolo sob condições de adubação orgânica e pousio

Tratamento	N	C	C/N
	--- g kg ⁻¹ ---		
Testemunha (sem adubação orgânica)	0,62	5,26	8,48
Resíduo de sabiá + Esterco bovino + Bagana de carnaúba	0,90	3,64	4,04
Resíduo de sabiá + Esterco bovino	0,74	4,58	6,19
Resíduo de leucena + Esterco bovino + Bagana de carnaúba	0,99	3,58	3,62
Resíduo de leucena + Esterco bovino.	0,93	3,68	3,96
Resíduo de jurema + Esterco bovino + Bagana de carnaúba	1,00	16,90	16,9

Resíduo de jurema + Esterco bovino	1,04	9,94	9,56
Pousio (Exclusão)	0,90	13,03	14,48

Com base na tabela de análise de variância (ANOVA) para o carbono orgânico do solo (COS), construíram-se os possíveis contrastes e seus respectivos efeitos reais na tabela 5. Estes resultados implicam em dizer quais das misturas (tratamentos) mostradas na tabela 3 demonstraram um melhor efeito no sentido de melhorar a qualidade física do solo. Com base nesta indagação, os dados de ANOVA da tabela 4 não demonstram nenhuma diferença estatística pelo teste F a 1% de probabilidade.

Tabela 4. Análise de variância do carbono orgânico de um Planossolos submetido a diferentes tipos de adubação orgânica e pousio

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Valor de F
Tratamentos	(7)	549,64	78,52	1,03 ^{ns}
Resíduo	16	1223,63	76,48	-
CV%	-	115,43		

(**) ns – Não significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

A não significância demonstrada pelo teste F anteriormente infere que o tempo de permanência do carbono aplicado sobre o solo não foi suficiente para que o mesmo pudesse na formação de agregados. Este resultado só reforça ainda mais o fato de não ser possível realizar a análise de estabilidade de agregados em laboratório, já que o solo não apresentou formação de estruturas compostas (agregados) que comprovassem o grau de estabilidade estrutural deste solo após a aplicação dos tratamentos.

O efeito real pode ser positivo ou negativo, independente de apresentar significância ou não no valor de F. No presente estudo, ao se aplicar diversos contrastes e verificar os possíveis efeitos reais de seus desdobramentos, observou-se, na tabela 5, que, mediante as possibilidades escolhidas, nenhum tratamento demonstrou diferença significativa pelo teste F a 1 % de probabilidade. Ou seja, o carbono orgânico não apresentou nenhum efeito real sobre a geometria porosa do solo. Sendo assim, o processo de integração entre as partículas de solo e compostos orgânicos foram inexistentes.

Tabela 5. Avaliação do carbono orgânico do solo por contrastes ortogonais e seus respectivos efeitos reais analisados pelo teste F

Contrastes	Grau de Liberdade	Efeito Real	Valor de F
Testemunha Negativa vs. Testemunha Positiva			
Testemunha (T) x Pousio (P)	1	-7,76 ^{ns}	1,18
Efeito da Adubação Orgânica			
Testemunha x (Tratamentos com esterco bovino)	1	-1,79 ^{ns}	0,11
Pousio x (Tratamentos com esterco bovino)	1	5,97 ^{ns}	1,20
Efeito da Bagana de Carnaúba			
Tratamentos com bagana x Tratamentos sem bagana	1	5,92 ^{ns}	0,23
Efeito do Resíduo de Leguminosa (com bagana e esterco)			
Resíduo de sabiá x Resíduo de leucena	1	0,06 ^{ns}	0,00
Resíduo de sabiá x Resíduo de jurema	1	-13,26 ^{ns}	3,45
Resíduo de leucena x Resíduo de jurema	1	-13,32 ^{ns}	3,48
Efeito do Resíduo de Leguminosa (sem bagana e com esterco)			
Resíduo de sabiá x Resíduo de leucena	1	0,90 ^{ns}	0,02
Resíduo de sabiá x Resíduo de jurema	1	-5,36 ^{ns}	0,56
Resíduo de leucena x Resíduo de jurema	1	-6,26 ^{ns}	0,77

(**) ns – Não significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

O comportamento da não significância nos resultados desta variável confirma que não houve interação entre a superfície específica das partículas de solo, que, em sua maioria, era composta por sedimentos arenosos, e os compostos presentes no material orgânico.

A matéria orgânica apresenta uma área superficial específica (ASE) que varia de 8×10^5 a $9 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ (MEURER *et al.*, 2000, p. 21), resultando em uma capacidade de retenção de água muito maior do que a da areia, cuja ASE é menor que $60 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$. Assim, na partição da água adicionada ao solo, a COS acaba retendo maior quantidade que a retida pela areia (VIANA *et al.*, 2011, p. 2110). Esse resultado se pronuncia quando as condições de temperaturas altas e baixa umidade do solo, pois não favorecem a decomposição ideal do material orgânico, e a conseqüente formação de agregados, bem como aumenta os riscos de erosão em épocas chuvosas.

Ressalte-se que situação semelhante foi constatada por Silva *et al.* (2014, p. 1787) em um PODZÓLICO VERMELHO Amarelo (atualmente classificado como ARGISSOLO VERMELHO Amarelo). Tais autores perceberam, em sua pesquisa, uma menor interação da areia com o material orgânico em superfície e constataram uma menor estabilidade de agregados nesta situação.

Em regiões semiáridas, o tempo de permanência do material sobre o solo é preponderante para que mudanças na geometria porosa deste possam ser verificadas, principalmente devido à relação da baixa quantidade de chuva que precipita sobre o local e do alto índice de evaporação. Por isso, quanto maior o tempo de material orgânico em contato com o solo, melhor será o resultado de interação entre as partículas do solo para formação de agregados e melhoria dos processos de aeração e condutividade da água no interior do solo. No entanto, essas mudanças não ocorreram no solo testado nesta pesquisa devido ao pouco tempo de interação dos adubos orgânicos utilizados nesta pesquisa.

3.4.2 Condutividade hidráulica (K_0)

Observa-se na tabela 6, o resumo da análise variância para condutividade hidráulica do solo. Nesta variável, o valor de F mostrou que não houve diferença significativa entre os contrastes testados na tabela 7.

Tabela 6. Análise de variância da condutividade hidráulica de um Planossolos submetido a diferentes tipos de adubação orgânica e ao pousio

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Valor de F
Tratamentos	(7)	1593000	227571,43	1,52 ^{ns}
Resíduo	16	2397600	149850,00	-
CV%	-	60,02		

(**) ns – Não significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Na tabela 7, constatou-se que a testemunha negativa (controle) não mostrou diferença significativa sobre a testemunha positiva (pousio), bem como não se verificou efeito das adubações com esterco, bagana de carnaúba e resíduo de leguminosa sobre a melhoria da condução da água entre os poros do solo. Ou seja, os contrastes ortogonais indicaram que nenhuma combinação proposta melhorou a condutividade hidráulica do solo.

Tabela 7. Avaliação da condutividade hidráulica do solo por contrastes ortogonais e seus respectivos efeitos reais analisados pelo teste F

Contrastes	Grau de Liberdade	Efeito Real	Valor de F
Testemunha Negativa vs. Testemunha Positiva			
Testemunha (T) x Pousio (P)	1	420,00 ^{ns}	1,77
Efeito da Adubação Orgânica			
Testemunha x (Tratamentos com esterco bovino)	1	-23,33 ^{ns}	0,01
Pousio x (Tratamentos com esterco bovino)	1	-443,33 ^{ns}	3,37
Efeito da Bagana de Carnaúba			
Tratamentos com bagana x Tratamentos sem bagana	1	340,00 ^{ns}	0,39
Efeito do Resíduo de Leguminosa (com bagana e esterco)			
Resíduo de sabiá x Resíduo de leucena	1	620,00 ^{ns}	3,85
Resíduo de sabiá x Resíduo de jurema	1	340,00 ^{ns}	1,16
Resíduo de leucena x Resíduo de jurema	1	-280,00 ^{ns}	0,78
Efeito do Resíduo de Leguminosa (sem bagana e com esterco)			
Resíduo de sabiá x Resíduo de leucena	1	-440,00 ^{ns}	1,94
Resíduo de sabiá x Resíduo de jurema	1	60,00 ^{ns}	0,04
Resíduo de leucena x Resíduo de jurema	1	500,00 ^{ns}	2,50

(**) ns – Não significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Em ambientes de semiaridez, como é caso do local da presente pesquisa, as condições de temperaturas são geralmente elevadas durante o dia e a umidade do solo é baixa. Nestas condições, as interações entre compostos orgânicos e partículas de solo são mais difíceis de ocorrer. Isso explica o fato de não haver influência dos tratamentos aplicados sobre a geometria porosa do solo, principalmente pelo tempo de permanência desse material sobre a superfície do solo. Dessa forma, há uma maior probabilidade de continuar ocorrendo erosão sobre este solo, partindo do pressuposto que as adubações não mantiveram o solo estruturalmente estável e protegido contra erosão hídrica.

A área da testemunha negativa (sem nenhum adubo orgânico) quando contrastada com a área de pousio não mostrou diferença para a mesma variável (Tabela 7). A hipótese para este comportamento é que 18 anos de pousio, mesmo com toda vegetação espontânea

crescida no local protege o solo de possíveis erosões, mas o tempo de pousio não foi suficiente para aumentar a K_0 ao ponto de torná-la diferente da área em cujo solo se manteve sem nenhum tipo de proteção vegetal.

Tal situação está de acordo com aquela constatada por Gubiani et al. (2007), em cujo trabalho não encontrou diferença estatística significativa entre as doses de dejetos nas variáveis: densidade do solo, porosidade total, microporosidade, macroporosidade, condutividade hidráulica. Em pesquisa realizada por Barbosa, Tavares Filho e Fonseca (2004, p. 406), em um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, os autores não notaram diferença significativa de K_0 para as maiores doses de lodo de esgoto analisadas a 0,10 m de profundidade, por um infiltrômetro de sucção.

Mesmo não havendo diferença estatística entre os tratamentos analisados em contrastes, a elevada presença de areia em superfície indica um fluxo permissivo de água em até 20 cm de profundidade. Desse modo, para este estudo os valores de K_0 , em superfície, classificaram-se em níveis que variaram de mediano a alto, segundo a Soil Survey Staff (1993). Como o solo pertence à classe dos Planossolos, possivelmente a faixa classificação de K_0 seria diferente se analisada em profundidade, principalmente porque esta classe de solo é conhecida por apresentar drenagem imperfeita nas camadas mais profundas (OLIVEIRA; SOUZA, 2015, p. 51) devido ao incremento de argila no horizonte B plânico.

O fato do material orgânico não ter sido incorporado pode ter limitado sua interação com as partículas do solo em profundidade. Nesse caso, o material orgânico que ficou sobre a superfície do solo demorou mais tempo a se decompor, permanecendo sobre o solo a fração mais recalcitrante do resíduo orgânico. Em contrapartida, a fração mais lábil possivelmente se decompôs de forma tão rápida que seus efeitos não foram percebidos sobre a melhoria da estrutura do solo e, conseqüentemente, na K_0 .

3.4.3 Curva característica de água no solo (CCAS)

Na tabela 8, encontra-se descrito o resumo da análise de variância para a curva característica de água no solo. Em se tratando desta variável, pode-se constatar que não houve diferença entre os contrastes ortogonais avaliados pelo teste F a 1% de probabilidade.

Tabela 8. Análise de variância da curva característica de água de um Planossolos submetido a diferentes tipos de adubação orgânica e ao pousio

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Valor de F
Tratamentos	(7)	0,039	0,005	1,52 ^{ns}
Resíduo	16	0,058	0,004	-
CV%	-	30,96		

(**) ns – Não significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Similar ao que aconteceu com a K_0 e ao COS, os tratamentos da tabela 9, quando postos em contrastes ortogonais, também demonstraram o mesmo comportamento para a CCAS. Em outras palavras, as adubações com esterco, bagana de carnaúba e resíduo de leguminosas não proporcionaram efeito real significativo sobre a melhoria na retenção de água no solo.

Ademais, é sabido que solos com maior teor de areia e pouca matéria orgânica apresentam baixa capacidade de retenção de água, principalmente quando não há incorporação do material orgânico no solo. Isto é, levando-se em conta que não houve interação dos compostos orgânicos com o presente solo, a capacidade de retenção água, que é dependente desta interação, também não foi influenciada. Esta informação foi reforçada por Nath and Krishna (2014, p. 8), que constataram em sua pesquisa uma maior retenção de água no solo argiloso em detrimento do arenoso e a adição da matéria orgânica contribuiu positivamente para a elevação da condutividade hidráulica. Os autores também sugeriram que a matéria orgânica em alta concentração deve ser incorporada para a melhoria da condução da água no interior do solo.

Tabela 9. Avaliação da curva característica de água no solo por contrastes ortogonais e seus respectivos efeitos reais analisados pelo teste F

Contrastes	Grau de Liberdade	Efeito Real	Valor de F
Testemunha Negativa vs. Testemunha Positiva			
Testemunha (T) x Pousio (P)	1	-0,087 ^{ns}	3,11
Efeito da Adubação Orgânica			
Testemunha x (Tratamentos com esterco bovino)	1	-0,009 ^{ns}	0,06
Pousio x (Tratamentos com esterco bovino)	1	0,078 ^{ns}	4,29
Efeito da Bagana de Carnaúba			
Tratamentos com bagana x Tratamentos sem bagana	1	-0,079 ^{ns}	0,87

Efeito do Resíduo de Leguminosa (com bagana e esterco)			
Resíduo de sabiá x Resíduo de leucena	1	-0,036 ^{ns}	0,55
Resíduo de sabiá x Resíduo de jurema	1	-0,028 ^{ns}	0,33
Resíduo de leucena x Resíduo de jurema	1	0,008 ^{ns}	0,03
Efeito do Resíduo de Leguminosa (sem bagana e com esterco)			
Resíduo de sabiá x Resíduo de leucena	1	0,104 ^{ns}	4,49
Resíduo de sabiá x Resíduo de jurema	1	0,067 ^{ns}	1,86
Resíduo de leucena x Resíduo de jurema	1	-0,037 ^{ns}	0,57

(**) ns – Não significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Para as áreas desprotegidas, representada pela testemunha negativa, cuja finalidade se direciona para a criação extensiva de animais, não recebendo nenhum tipo de adubação orgânica, o comportamento sobre a CCAS foi similar à área de pousio. Isso significa que independente das duas situações o processo de retenção de água no solo se manteve inalterado, mesmo com a presença do extrato herbáceo da vegetação espontânea fazendo o papel aportando matéria orgânica sobre o solo na área em pousio.

Esse comportamento pode ser visto de forma mais detalhada na tabela 9. Tal resultado se repetiu também para as variáveis anteriores: COS (Tabela 5) e K_0 (Tabela 7). A análise que se pode fazer diante de todo este cenário é que a ausência da incorporação do material orgânico e o pouco tempo enfatizado nesta pesquisa afetaram de forma negativa para proporcionar melhores resultados sobre as propriedades físico-hídricas do solo.

Um resultado como este não retira a importância desta variável para solo e, conseqüentemente, para a planta, uma vez que segundo Costa *et al.* (2013, p. 1536), a retenção e a disponibilidade de água determinam o crescimento das plantas. Estes autores ao avaliar a CCAS em diversas camadas (A1, A2, B1 e B2) e em diferentes classes de solo (com textura argilosa, siltosa e arenosa), perceberam que a maior quantidade de água disponível, nos horizontes superficiais em comparação com os horizontes em subsuperfície comprovou a importância de matéria orgânica na retenção e disponibilidade de água.

No atual estudo, não se avaliou a presença do material de origem e sua influência sobre a CCAS, mas é sabido que a maior ou menor presença desse material pode impactar positiva ou negativamente a variável em questão. Como já foi dito, a elevada presença de textura arenosa indica também um maior predomínio de quartzo e materiais primários. Estes

são materiais com difícil capacidade de promover a retenção de água. Isso acontece devido a baixa superfície específica do material de origem que não permite ligações com as moléculas de água. Essa observação pode ser corroborada por Costa *et al.* (2013, p. 1546), que constataram em seu estudo uma menor retenção de água nos solos derivados de rochas ou sedimentos ricos em depósitos de quartzo.

É importante salientar que a CCAS analisada neste estudo foi avaliada em superfície, até 20 cm de profundidade, o que é impossível fazer inferências desta mesma variável com as camadas inferiores que não foram inclusas no presente trabalho. Nesse contexto, caso houvesse diferenças estatísticas não seriam relacionadas ao adubo, mas pela influência dos materiais de origem e das condições presentes em camadas inferiores, como a presença do horizonte B plânico, por exemplo, que detém maior percentual de argila do que em superfície e, portanto, poderia reter maiores volumes de água em profundidade.

A análise periódica da CCAS em diferentes períodos, considerando as épocas seca e chuvosa, possivelmente trariam resultados com diferenças nítidas entre os tratamentos. No entanto, as análises aqui apresentadas não invalidam o trabalho, pois buscam avaliar o efeito das adubações orgânicas e do pousio sobre a mesma variável, e as análises em contrastes ortogonais confirmam ainda mais a necessidade de se considerar o tempo nesse processo de avaliação. Ou seja, quanto maior o período a se consideram maiores as possibilidades do adubo orgânico e do pousio demonstrarem efeitos significativos sobre a capacidade de retenção de água no solo.

É sabido que se não houve aumento da CCAS, presume-se que a atividade respiratória do solo também não foi comprometida. Isso significa que a capacidade do solo em permitir a troca de gases em sua estrutura porosa, que será discutida mais à frente, não teve diferença entre os mesmos tratamentos, pois uma variável é inversamente proporcional à outra. Esta explicação corrobora com a constatação obtida por Pupin, Rangel e Nahas (2018, p. 304), que observou que o aumento da capacidade de retenção de água ocasionou uma diminuição da atividade respiratória de um LATOSSOLO, a 10 cm de profundidade, analisado em duas condições: cultivos anuais e mata nativa.

Diferenças estatísticas significativas na curva (CCAS) são difíceis de se detectarem em situações onde os teores de COS também não passaram por aumentos significativos após dois anos de adubações orgânicas testadas sobre o solo. Estas diferenças foram relatadas por Machado *et al.* (2008, p. 500) que atrelaram as modificações da CCAS ao

aumento de C orgânico em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, analisado a 15 cm de profundidade, sob condições de mata, pousio vegetado com gramíneas e cultivo com culturas anuais.

3.4.4 Índice S

Diferentemente do que se observou para as variáveis anteriores, o índice S demonstrou comportamento diferente. Isto é, houve diferença significativa a 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 10).

Tabela 10. Análise de variância do índice S em um Planossolo submetido a diferentes tipos de adubação orgânica e ao pousio

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadra do Médio	Valor de F
Tratamentos	(7)	0,022	0,003	< 0,0001 ^{**}
Resíduo	16	0,000	0,000	-
CV%	-	0,00		

(**) Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Em todos os tratamentos, quando postos em contrastes, observou-se que os efeitos reais foram todos significativos ao nível de 1% de probabilidade. A falta de adubo na testemunha aumentou o índice S, sendo este maior comparado ao efeito real encontrado na área de pousio.

Ao levar em consideração os critérios propostos por Dexter (2004a), em que valores de S maiores que 0,035 indicam boa qualidade física do solo pela forte presença de poros estruturais e valores inferiores a 0,020 indicam predomínio de porosidade textural associada a condições de baixa qualidade física do solo, propôs-se usar os mesmos limites do índice para esta pesquisa. Portanto, observou-se que a maioria dos tratamentos apresentou índice S acima de 0,035 (gráfico 9), revelando que a aplicação de tais adubos proporcionou uma melhoria na geometria porosa estrutural do solo, cujo efeito foi observado nos contrastes ortogonais da tabela 11.

Tabela 11. Avaliação do índice S por contrastes ortogonais e seus respectivos efeitos reais analisados pelo teste F

Contrastes	Grau de Liberdade	Efeito Real	Valor de F
Testemunha Negativa vs. Testemunha Positiva			
Testemunha (T) x Pousio (P)	1	-0,087*	<0,0001
Efeito da Adubação Orgânica			
Testemunha x (Tratamentos com esterco bovino)	1	-0,009*	<0,0001
Pousio x (Tratamentos com esterco bovino)	1	0,078*	<0,0001
Efeito da Bagana de Carnaúba			
Tratamentos com bagana x Tratamentos sem bagana	1	-0,079*	<0,0001
Efeito do Resíduo de Leguminosa (com bagana e esterco)			
Resíduo de sabiá x Resíduo de leucena	1	-0,036*	<0,0001
Resíduo de sabiá x Resíduo de jurema	1	-0,028*	<0,0001
Resíduo de leucena x Resíduo de jurema	1	0,008*	<0,0001
Efeito do Resíduo de Leguminosa (sem bagana e com esterco)			
Resíduo de sabiá x Resíduo de leucena	1	0,104*	<0,0001
Resíduo de sabiá x Resíduo de jurema	1	0,067*	<0,0001
Resíduo de leucena x Resíduo de jurema	1	-0,037*	<0,0001

(**) ns – Não significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Em outras palavras, a área controle (T) teve o índice S menor em comparação com o a área de pousio (P), sendo a diferença entre os dois tratamentos saldo negativo (-0,087) (Tabela 11). Esse resultado já era esperado, uma vez que a condição de pousio reflete no maior acúmulo de material orgânico sobre o solo nas condições físicas e hídricas deste. Este resultado também foi positivo para o pousio quando comparado com os demais tratamentos adubados com esterco bovino, resíduos de leguminosa e bagana de carnaúba.

Presume-se que tal resultado ocorreu devido ao maior aporte de cobertura vegetal proporcionado pela serapilheira na área em repouso e ao estoque de carbono que este material depositou no solo. Mascarenhas *et al.* (2017, p. 26) observaram que os estoques de carbono indicaram comportamento esperado para o sistema agroflorestal analisado em seu trabalho, principalmente na camada superficial do solo (0 cm a 20 cm). Para isso acontecer, Bianchi,

Scoriza e Correia (2016, p. 100) ressalta que condições de temperatura e precipitação devem influenciar fortemente sobre o aporte, na deposição e decomposição deste material.

Os tratamentos com bagana expressaram melhor índice S do que aqueles sem a presença da bagana de carnaúba (-0,079). Ainda não se tem estudos aprofundados sobre o efeito do resíduo da bagana diretamente no solo, sendo mais comum o uso deste material como substrato na produção de mudas (COSTA *et al.*, 2005; ARAÚJO *et al.*, 2017). No trabalho de Araújo *et al.*, (2017, p. 21), verificou-se que a mistura bagana e solo é uma das mais adequadas para a preparação do substrato. O fato desta matéria prima Ademais, existe a possibilidade desta matéria prima pode ser aplicada na proteção do solo contra o impacto das gotas de chuvas, principalmente em regiões semiáridas, onde há presença de Planossolo, onde a carnaúba é comum, tornando a prática economicamente viável, uma vez que seu acesso pelos agricultores apresenta custo zero.

Quando se comparou o efeito do real dos contrastes entre os tratamentos com leguminosas (com bagana e esterco bovino), aqueles que receberam os resíduos de sabiá obtiveram resultados negativos para o índice S (-0,036) quando comparados com os tratamentos com presença de leucena e jurema. O contrário ocorreu com o mesmo índice na comparação da leucena com a jurema, sendo o resíduo de leucena o que melhor promoveu características orgânicas sensíveis ao índice S (0,008). O que significa uma melhoria na qualidade física do solo do ponto de vista do referido índice para os tratamentos que receberam o resíduo de leucena (com esterco e bagana).

Mesmo com o pouco tempo (dois anos) desses resíduos sobre o solo é possível afirmar que houve relação positiva da matéria orgânica com o índice em estudo. Este fato corrobora com Siqueira *et al.* (2014, p. 477) e Jardini e Amorim (2017, p. 114), os quais encontraram relação positiva entre o índice, os atributos físico-hídricos e o conteúdo de carbono orgânico.

Em uma situação diferente daquela tratada no parágrafo anterior, compararam-se apenas os tratamentos com e sem leguminosa, porém com a presença de esterco e com ausência da bagana de carnaúba. Constatou-se, desse modo, que o resíduo de sabiá demonstrou efeito real positivo para o índice S (0,104 e 0,067) quando comparado com a leucena e a jurema, respectivamente. O sabiá ale de fornece nitrogênio e contribui para o estoque de carbono no solo também se aplica como substrato para produção de mudas,

principalmente associado a fungos micorrízicos arbusculares, favorecendo o crescimento de outras espécies vegetais, como ressaltou Pinto (2016, p. 33) em seu estudo.

Apesar da leucena não apresentar resultado significativo, ainda se recomenda aplicá-la sobre o solo para que haja disponibilidade de C e N para as plantas, haja vista que sua relação C/N é baixa, como foi visto anteriormente (Tabela 2), sendo esta informação corroborada por Alves *et al.* (2011, p. 1109), que recomendam que a leucena deve ser aplicado ao solo, preferencialmente, em superfície.

Por outro lado, verifica-se que o solo teve uma melhor qualidade física representada pelo mesmo índice nos tratamentos onde a jurema foi misturada ao esterco (sem bagana) esteve em contraste com a leucena (na mesma condição). Tal resultado indica que a presença desta leguminosa quando misturada ao esterco proporcionou menor qualidade física segundo o valor de índice S, cujo efeito real foi negativo (-0,037).

3.4.5 Permeabilidade do solo ao ar (K_{ar})

A próxima análise de variância descreve os resultados estatísticos analisados pelo teste F a 1% de probabilidade para a permeabilidade do solo ao ar (Tabela 12), em que se considerou a comparação de média dos tratamentos por meio dos contrastes ortogonais.

Tabela 12. Análise de variância da permeabilidade do solo ar em um Planossolo submetido a diferentes tipos de adubação orgânica e ao pousio

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	Valor de F
Tratamentos ^(*)	(7)	802,96	114,71	0,97 ^{BS}
Resíduo	16	1890,21	118,14	-
CV%	-	26,71		

(**) ns – Não significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

Foi observado que, assim como foi descrito nas variáveis anteriores (COS, K_0 , CCAS e índice S), os efeitos reais dos contrastes para permeabilidade do solo ao ar (K_{ar}) também não apresentaram nenhuma diferença estatística significativa.

Tabela 13. Avaliação do índice S por contrastes ortogonais e seus respectivos efeitos reais analisados pelo teste F

Contrastes	Grau de Liberdade	Efeito Real	Valor de F
Testemunha Negativa vs. Testemunha Positiva			
Testemunha (T) x Pousio (P)	1	3,17 ^{ns}	0,13
Efeito da Adubação Orgânica			
Testemunha x (Tratamentos com esterco bovino)	1	-7,64 ^{ns}	1,27
Pousio x (Tratamentos com esterco bovino)	1	-10,81 ^{ns}	2,54
Efeito da Bagana de Carnaúba			
Tratamentos com bagana x Tratamentos sem bagana	1	17,39 ^{ns}	1,28
Efeito do Resíduo de Leguminosa (com bagana e esterco)			
Resíduo de sabiá x Resíduo de leucena	1	-1,03 ^{ns}	0,01
Resíduo de sabiá x Resíduo de jurema	1	-5,08 ^{ns}	0,33
Resíduo de leucena x Resíduo de jurema	1	-6,10 ^{ns}	0,47
Efeito do Resíduo de Leguminosa (sem bagana e com esterco)			
Resíduo de sabiá x Resíduo de leucena	1	10,93 ^{ns}	1,52
Resíduo de sabiá x Resíduo de jurema	1	7,75 ^{ns}	0,76
Resíduo de leucena x Resíduo de jurema	1	-3,17 ^{ns}	0,13

(**) ns – Não significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

A explicação mais plausível para os resultados de K_{ar} se manterem iguais entre os contrastes analisados é que todos os tratamentos com adubação não proporcionaram qualquer melhoria na qualidade física do solo, independente dos efeitos reais serem positivos ou negativos para os contrastes a que se propôs aplicar nesta pesquisa.

Precisa-se ressaltar que as áreas onde a pesquisa foi inserida já se encontravam em condições de degradação há muito tempo (com exceção do pousio). De acordo com uma das hipóteses esperava-se que os adubos orgânicos aplicados promovessem algum resultado positivo na melhoria do ponto de vista físico da qualidade do solo, o que não ocorreu pelo pouco tempo de permanência do material orgânico sobre o solo.

Em contrapartida, 18 anos de pousio também foi insuficiente para que o mesmo resultado pudesse melhorar os resultados de K_{ar} . Este é mais um indicativo de que é necessário

um período de pousio acima de 18 anos para que se possa encontrar qualquer resultado positivo da qualidade do solo no que compete a estas e outras variáveis já ressaltadas nesta discussão.

Todos os tratamentos apresentaram permeabilidade ao ar acima $10 \mu\text{m}^2$, não sendo limitante ao crescimento das raízes das plantas. Nestas condições, o solo permite um melhor fluxo de gases que favorece a respiração destas raízes. Isso já era esperado, uma vez que o solo em sua superfície apresentou teor de areia elevado (Tabela 1). Ball, O'Sullivan e Hunter (1988) e McQueen & Shepherd (2002, p. 105) estabeleceram que o valor de K_{ar} igual a $1 \mu\text{m}^2$ pode ser empiricamente estabelecido como indicador de solo impermeável aos gases, sugerindo a ocorrência de condições físicas do solo limitantes para o crescimento das plantas.

Este comportamento é corroborado pelos os resultados de K_{ar} encontrados por Moreira *et al.* (2012, p. 395) que constataram valores menores que $1 \mu\text{m}^2$ em 94% de suas amostras para o potencial de -10 kPa. Nessa situação os autores encontraram restrições para o crescimento das raízes.

3.5 Conclusões

Do ponto de vista dos indicadores utilizados na presente pesquisa, refuta-se a hipótese de que diferentes tipos de adubação orgânica melhora a qualidade estrutural do solo para a maioria das variáveis analisadas, exceto para o índice S.

As áreas com 18 anos de pousio proporcionaram melhoria da qualidade física do solo apenas quando avaliada de acordo com o índice S, sendo que para as demais variáveis não se detectou nenhum efeito positivo sobre a geometria porosa do solo.

Mesmo com conteúdo de argila sendo menor que o de areia, é possível que os resíduos orgânicos mais resistentes à degradação tenham aproximados as partículas do solo, influenciando positivamente na qualidade física do solo, do ponto de vista dos resultados demonstrados pelo índice S, tanto no pousio como nos tratamentos com adubação orgânica.

3.6 Considerações Finais

Estudos mais aprofundados sobre fracionamento da matéria orgânica devem ser realizados a partir destes resultados para que se tenham respostas mais concisas a respeito da comparação entre áreas em condição de pousio e aquelas que receberam diferentes tipos de adubação orgânica. Em contrapartida, é necessário que se leve mais tempo para que os tratamentos aplicados e a área de pousio respondam positivamente à melhoria da qualidade de um solo fisicamente e degradado situado em uma área suscetível à desertificação.

4. CONCLUSÃO FINAL

O presente estudo concluiu que, em ambos os capítulos, as discussões atenderam ao objetivo geral da pesquisa que foi analisar de forma holística (primeiro capítulo) questões pertinentes sobre o município de Irauçuba e, de modo específico (segundo capítulo), avaliar, no local, áreas degradadas sob condições de pousio e adubação orgânica no semiárido cearense. Tanto a revisão bibliográfica como a pesquisa *in loco* servirão de base para estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. L. Impacto da recuperação de áreas degradadas sobre as repostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido. **Water Resources and Irrigation Management**, Campina Grande, v.1, n.1, p.39-50, 2012.
- ALMEIDA, C. L.; ARAÚJO, J. C. **Escoamento superficial, perda de solo e nutrientes numa encosta semiárida degradada com dez anos de pousio**. In: OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. (Org.). Monitoramento da desertificação em Irauçuba. 1ª. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, v. 1, p. 205-230, 2015.
- ALVAREZ V. V. H.; NOVAES, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 25-32, 1999.
- ALVES, R. N.; MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H.; PEREIRA, W. E. Relação entre qualidade e liberação de N por plantas do semiárido usadas como adubo verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1107-1114, 2011.
- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; CÂNDIDO, G. A. Indicadores socioeconômicos e a desertificação no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 19-40, 2017.
- ANDRADE, J. A.; CORDEIRO NETO, J. R. Uma Discussão sobre a Possibilidade da Criação Institucional e Sinergia entre Estado e Sociedade: o Caso do PIMC no Seminário Brasileiro. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 14, n. Edição Especial, p. 551-568, 2016.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 382-388, 2009.
- ANKENY, M. D.; KASPAR, T. C.; HORTON, R. Characterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurements. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.837-840, 1990.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo Pastoril Sustentável Caatinga**. Recife, PE: Projeto Dom Helder Câmara, 2013. 200 p.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; SILVA, N. L. **Impactos e mitigação do antropismo no núcleo de desertificação de Irauçuba - CE**. In: OLIVEIRA, J. G. B; SALES, M. C. L.; Monitoramento da desertificação em Irauçuba. Imprensa Universitária: 2015, 372p.
- ARAÚJO, S. M. S. A região Semiárida do Nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Rios Eletrônica: Revista Científica da FASETE**, n. 5, 2011.
- ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. S.; GONÇALVES, E. O.; ALMEIDA, K. N. S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.

- BAPTISTA, N. Q.; CAMPOS, C. H. **A convivência com o Semiárido e suas potencialidades.** In: ____CONTI, I. L.; SCHROEDER, E. O. Convivência com o semiárido brasileiro: autonomia e protagonismo social. (organizadores). Editora IABS, Brasília-DF, 2013. 208p.
- BALL, B.C.; O'SULLIVAN, M. F.; HUNTER, R. Gas diffusion, fluid flow and derived pore continuity indices in relation to vehicle traffic and tillage. **Jornal Soil Science**, v.39, p.327-339, 1988.
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Condutividade hidráulica saturada e não saturada de Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 403-407. 2004.
- BARROS, J. D. S.; SILVA, M. F. P. Práticas agrícolas sustentáveis como alternativas ao modelo hegemônico de produção agrícola. **Sociedade e desenvolvimento rural**, Brasília, v. 4, n. 2, 2010.
- BIONDO, E.; POHL, D. F.; FONTANIVE, J. D.; URNAU, C. C.; POTTER, C. L.; VOLZ, A. J.; DONEDA, A.; ROCHE, M. M. Estudo sobre a sustentabilidade agrícola em propriedades de alguns municípios da microrregião celeiro, noroeste do estado do RS: levantamento de dados. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, 2007.
- BITTAR, I. M. B.; FERREIRA, A. S. & CORRÊA, G. F. Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira de sítios do bioma Cerrado sob condições de incubação. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1952-1960, 2013.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, 1986a. pt. 1, p. 363-375. (Agronomy Monography, 9).
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed.) *Methods of soil analysis*. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, 1986b. pt. 1, p. 377-382. (Agronomy Monography, 9).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAM**. Parte das folhas SC. 23. Rio São Francisco e SC. 24. Aracaju. Levantamentos de recursos naturais. Rio de Janeiro, v. 1, 1973.
- BRIGGS, L. J. **The mechanics of soil moisture**. USDA Bureau of Soils Bull. 10. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC, 1897.
- BOYOUCOS, G. A new classification of the soil moisture. **Soil Science**, v. 11, n. 1, p. 33-48, 1921.
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. **Desenvolvimento rural do semiárido brasileiro: transformações recentes, desafios e perspectivas**. Confins, (On line), n. 19, 2013. Disponível em: <http://confins.revues.org/8633>. Acesso em: 09 jun. 2015.
- BURITI, C. O; AGUIAR, J. O. (Org.). **Secas, migrações e apresentações do semi-árido na literatura regional: por uma história ambiental dos sertões do nordeste brasileiro**. 2008.

CAMPOS, J. N. B. **Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos.** Estudos Avançados: UFC / Fortaleza, v. 28, n. 82, p. 65-88, 2014.

CAMPOS, M. C. C.; FERRAZ, F. B.; FREITAS, E. W. S.; SOUZA, Z. M. Dependência espacial de atributos físicos e hídricos de um Espodossolo da zona da mata de Pernambuco. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, p. 84-91, 2007.

CAPELLESSO, A. J.; CAZELLA, A. A. Indicador de sustentabilidade dos agroecossistemas: estudo de caso em áreas de cultivo de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 12, p. 2297-2303, 2013.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J. D.; FREITAS, D. A. F. D.; AVANZI, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 632-638, 2012.

CARVALHO, M. S. B. S.; SOARES, A. M. L.; SOARES, Z. M. L.; FREITAS FILHO, M. R.; SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. V. **Zoneamento Ecológico-Econômico das Áreas Suscetíveis à Desertificação do Núcleo Irauçuba/Centro-Norte – Ceará.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, INPE, p. 6102-6109, 25 a 29 de abril de 2015.

CASTRO, C. N. **A agricultura no nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao Desenvolvimento.** Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília: IPEA, 2012.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 339-352, 2006.

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

CHAVANGO, M. H. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Missi em Irauçuba - Ceará: uma contribuição ao uso de suas terras.** 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS – CNM (2013). **Análise sobre a seca do Nordeste.** Disponível em: <<http://www.cnm.org.br>>. Acesso em: 06 ago. 2015.

CONTI, I. L.; PONTEL, E. **Transição paradigmática na convivência com o Semiárido.** In: CONTI, I. L.; SCHROEDER, E. O. *Convivência com o semiárido brasileiro: autonomia e protagonismo social.* (organizadores). Editora IABS, Brasília-DF, 2013. 208p.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; PÉRTILE, P.; SILVA, F. R. Water retention and availability in soils of the State of Santa Catarina-Brazil: effect of textural classes, soil classes and lithology. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1535-1548, 2013.

- COSTA, A. M. G.; COSTA, J. T. A.; JUNIOR, A. T. C.; CORREIA, D.; FILHO, S. M.; Influência de diferentes combinações de substratos na formação de porta-enxertos de gravioleira (*Annona muricata* L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza v.36, n.3, p. 299-305, 2005.
- COSTA, A. R. S.; FERREIRA, G. L.; SOUZA, E. B.; ROLIM NETO, F. C. Desertification in semi-arid northeast of Brazil. **Geama Journal**, Recife, v. 2, n. 4, p. 427-445, 2016.
- COSTA, E. M. **Atividade biológica e caracterização de estirpes rizobianas de feijão-caupi isoladas de solo do município de Irauçuba – CE**. In: OLIVEIRA, J. G. B; SALES, M. C. L.; Monitoramento da desertificação em Irauçuba. Imprensa Universitária: 2015, 372p.
- COSTA, L. R. F. **Estruturação geoambiental e susceptibilidade à desertificação na sub-bacia hidrográfica do riacho Santa Rosa – Ceará**. 2014. 145 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 961–974, 2009.
- COUTINHO M. J. F. A.; CARNEIRO, M. S. S.; EDVAN, R. L.; PINTO, A. P. A pecuária como atividade estabilizadora no Semiárido Brasileiro. **Veterinária e Zootecnia**, v. 20, n. 3, p. 9-17, 2013.
- CUNHA FILHA, L. D.; GOMES, V. F. F.; MENDES FILHO, P. P.; MASCENA, A. M.; DUTRA, A. T. B. **Aplicação de tortas oleaginosas nas propriedades químicas e biológicas de um solo degradado de Irauçuba - CE**. In: OLIVEIRA, J. G. G. de; SALES, M. C. L. (Org.). Monitoramento da desertificação em Irauçuba. Fortaleza: UFC, 2015. p. 187-203.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004a.
- D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K.F.; RAVI, S.; RUNYAN, C.W. Global desertification: Drivers and feedbacks. **Advances in Water Resources**, v. 51, p. 326-344, 2013.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A., (Eds.) Defining soil quality for a sustainable environment. **Soil Science Society of America**, Madison, p.1-20, 1994. (Special Publication, 35).
- DOURADO NETO, D.; NIELSON, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Science agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.
- DUQUE, J. G. **Solo e água no polígono das secas**. 5. ed. Mossoró: ESAM, 1980. 271 p. (Coleção Mossoroense, 142).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, CNPS, 1997. 212p.

FERNANDES, M. R. M.; MATRIARDI, M. E. A. T.; ALMEIDA, A. Q.; FERNANDES, M. M. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. **Floresta e ambiente**, v. 22; n. 4, p. 472-482, 2015.

FERREIRA, J. M. L. **Indicadores de qualidade do solo e de sustentabilidade em cafeeiros arborizados**. 2005. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FREITAS, D. A. F; SILVA, M. L. N.; CASTRO, N. E. A.; CARDOSO, D. P.; DIAS, A. C.; CARVALHO, G. J. Modelagem da proteção do solo por plantas de cobertura no sul de Minas Gerais. **Agroambiente**, Boa Vista, v. 6, p. 117-123, 2012.

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 99-105, 2008.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368p.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: 1ª ed. Universidade/UFRGS, 2000. 658p.

GOMES, M. A.; LANI, J. L.; COSTA, L. M.; PONTES, L. M.; FIGUEIREDO, N. A.; BARDALES, N. G. Solos, manejo e aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do Araújos, Viçosa - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 93-102, 2012.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 169-177, 2005.

GRIGOLON, G. B. **Curva de retenção de água no solo determinada a partir de um número mínimo de pares de umidade e tensão na câmara de Richards**. 2013. 82p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, 2013.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; CERETTA, A. C.; KUNZ, M. Condições físicas de um Argissolo Vermelho distrófico arênico após oito ciclos de cultivo e uso de dejetos de suínos. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 2007, Gramado-RS. **Anais...** Gramado-RS: 2007.

GUIMARÃES, C. C. B.; VALLADARES, G. S.; MARTINS, C. M. Uso das terras e declividade no Sertão central do Ceará, Brasil. **Revista Nordestina de Biologia**, v. 24, n. 1, p. 3-18, 2016.

HARVEY, D. **A justiça social e a cidade**. São Paulo: Hucitec, 1980.

HERNANI, L. C.; CHAGAS, C. S.; GONÇALVES, A. O.; MELO, A. S. **Potencial natural de erosão e geotecnologias para a classificação de capacidade de uso dos solos**. *In*:

CASTRO, S. S.; HERNANI, L. C. Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade. Embrapa, 2015. 367p.

HILLEL, D. **Environmental soil physics: fundamentals, applications and environmental considerations**. New York: Academic Press, 1998, 771p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2006). Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=230610&idtema=3&search=ceara|iraucuba|censo-agropecuario-2006>>. Acesso em: 11 out. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2010). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=230610&search=ceara|iraucuba>>. Acesso em: 11 out. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. **Perfil Básico Municipal de Irauçuba**. Fortaleza-CE, 18p. 2011.

JACOMINE, P. K. T. **Solos sob caatinga: características e uso agrícola**. In: ALVAREZ V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS, p. 95-133. 1996.

JARDINI, D. C.; AMORIM, R. S. S. Uso do índice s na avaliação da qualidade físico-hídrica de solos do Cerrado Matogrossense. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 107-115, 2017.

JUCÁ NETO, C. R. Os primórdios da organização do espaço territorial e da vila cearense: algumas notas. **Anais do museu paulista**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 133-163, 2012.

KIRKHAM, D. Field method for determination of air permeability of soil in its undisturbed state. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 11, p. 93-99, 1946.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 13, n. 5, p. 3915-3925, 2014.

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

LEITE, M. L. M. V.; SILVA, D. S.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; RAMOS, J. P. F. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, p. 192-200, 2014.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. Edusp, v. 61, 2005, 335p.

LI, L.; CHAN, K. Y.; NIU, Y.; OATES, A.; DEXTER, A.R.; HUANG, G. Soil physical qualities in an Oxic Paleustalf under different tillage and stubble management practices and application of S theory. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 113, p. 82-88, 2011.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. **Limitações do uso dos solos do Estado do Ceará por suscetibilidade à erosão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 19p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 54).

LIMA, C. E. **Agricultura camponesa, pronaf e iniciativas agroecológicas no município do Crato-CE**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

LIMA, H. V.; LIMA C. L. R.; LEÃO, T. P.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; ROMERO, R. E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 677-684, 2005.

LIMA, P. L. T.; SILVA, M. L. N.; QUINTON, J. N.; BATISTA, P. V. G.; CÂNDIDO, B. M.; CURI, N. Relationship among crop systems, soil cover, and water erosion on a Typic Hapludox. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, p. 1-16, 2018.

LOPES, P. R.; LOPES, K. C. S. A. Sistemas de produção de base ecológica – a busca por um desenvolvimento rural sustentável. **Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, Araraquara, v. 4, n. 1, 2011.

MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 495-502, 2008.

MANCAL, A. **Capacidade adaptativa das comunidades nas áreas susceptíveis à desertificação no Estado do Ceará**, 2015. 159 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR O. F.; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no baixo amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, p. 193-206, 2008.

MARQUES, T. A. E.; OLIVEIRA, L. J. Mudanças climáticas no Nordeste Brasileiro e refugiados ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, n. 04, p. 965-984, 2016.

MASCARENHAS, A. R. P.; SCCOTI, M. S. V.; MELO, R. R.; CORRÊA, F. L. O.; SOUZA, E. F. M.; ANDRADE, R. A.; BERGAMIN, A. C.; MÜLLER, M. W. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-ocidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 89, p. 19-27, 2017.

McCAULEY, A.; JONES, C.; OLSON-RUTZ, K. Soil pH and organic matter. **Nutrition Management**, module 8, p. 1-11, 2017.

McQUEEN, D.J.; SHEPHERD, T. G. Physical changes and compaction sensitivity of a fine textured, poorly drained soil (Typic Endoaquept) under varying durations of cropping, manawatu region, **Soil and Tillage Research**, New Zealand, v. 25, p. 93-107, 2002.

MEDEIROS, T. A. F. **Estratégia alimentar para a produção de caprinos no semiárido pernambucano**, 2014. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

MEDINA, G.; ALMEIDA, C.; NOVAES, E.; GODAR, J.; POKORNY, B. Development conditions for family farming: lessons from Brazil. **World Development**, v. 74, p. 386-396, 2015.

MEIRELES, A. C. M.; ARAUJO NETO, J. R.; OLIVEIRA, L. J. Sustentabilidade do modelo agrícola da bacia do riacho Faé. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 84-91, 2011.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L. **Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús – CE.** In: OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L.; Monitoramento da desertificação em Irauçuba. Imprensa Universitária: 2015, 372p.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GIONGO, V.; PEREZ-MARIN, A. M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 72, n. 3, 2012.

MENTGES, M. I. **Parâmetros de compressibilidade e permeabilidade ao ar de solos sob plantio direto.** 2014. 134 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 963-969, 2004.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo.** Porto Alegre, Gênese, 2000. 174p.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCOVERDE, M. F. HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. B. **Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção - opções para Cerrado e Caatinga.** Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agorflorestal – ICRAF, 2016. 266p.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1513-1519, 2009.

MOREIRA, W. H.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; COSTA, M. A. T.; FRANCO, H. H. S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 389-400, 2012.

MOREIRA, W. H.; JUNIOR, E. B.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; YAGI, R. Comparação de duas metodologias para determinação da permeabilidade do solo ao ar. **VII Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar (Anais Eletrônico)**, CESUMAR, Maringá, 2011.

MOTA, F. G. **Educação ambiental x desertificação em Irauçuba: o que conhecemos e o que temos feito?** 2003. 53 p. Monografia (Especialização em Educação Ambiental). Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2003.

NATH, N. T.; KRISHNA, G. B. Influence of soil texture and total organic matter content on soil hydraulic conductivity of some selected Tea growing soils in Dibrugarh district of Assam, India, **Journal Chemistry Science**, India, v. 1, n. 4, p. 2-9, 2014.

NOLÊTO, T. M. S. J. **Suscetibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de Sobral (CE) a desertificação**. Dissertação (Mestrado). – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: 2005, 145p.

OLIVEIRA, A. L. T. **Avaliação de práticas de manejo nos atributos químicos e na perda de solo em região semiárida**. 2015. 87f. Dissertação (Mestrado Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas). – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: 2015, 87p.

OLIVEIRA, J. A. **Análise da agricultura familiar no município de irauçuba, segundo a sua capacidade adaptativa à seca, a partir das tecnologias de captação e armazenamento da água**. 2014. 104f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias. Fortaleza, 2014, 104p.

OLIVEIRA, V. P. V.; SOUZA FILHO, M. J. N. **Solos Predominantes em Áreas de Experimentação (exclusão) do Núcleo de Desertificação de Irauçuba - CE**. In: OLIVEIRA, J. G.; SALES, M. C. L. (Org.). Monitoramento da Desertificação em Irauçuba. 1 ed. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC), v. 1, p. 47-64, 2015.

PAIXÃO, F. J. R.; ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A. V.; SILVA, J. M.; COSTA, T. L.; FEITOSA, R. M. Estimativa da infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 5, p. 1-12, 2004.

PANTALENA, A. F.; MAIA, L. P. Marcas da ação antrópica na história ambiental do Rio Jaguaribe, Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, Lisboa, v. 14, n. 3, p. 459-470, 2014.

PATRÍCIO, M. C. M.; SILVA, V. M. A.; RAMOS, A. R. D. Gilbués - núcleo de desertificação do Piauí, caracterização física, variabilidade climática e impactos ambientais. **Revista Polêmica**, v. 11, n. 3, p. 23-30, 2012.

PAZZETTO, M. B. **Estudo da permeabilidade de solos argilosos disponíveis para recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina**. 2009. 98p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

PEREIRA, B. E.; DIEGUES, A. C. Conhecimento de populações tradicionais como possibilidade de conservação da natureza: uma reflexão sobre a perspectiva da etnoconservação. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 37-50, (2010).

PEREIRA, M. C. G. **Água e convivência com o semiárido: múltiplas águas, distribuições e realidades**. 2016. 234 f. Tese (Doutorado em Administração Pública e Governo) Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, 2016.

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; TINOCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: Ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias Estratégicas**, v. 17, p. 87-106, 2012.

PESSOA, C. D. S. **Banco de sementes no solo em uma área de caatinga em regeneração, núcleo de desertificação de Irauçuba – Ceará.** 2008. 45 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J. Intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1515-1526, 2010.

PINTO, H. C. A. **Potencial fitorremediador de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) associada a fungo micorrízico arbuscular em solo contaminado com óleo diesel.** 2016. 66f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

PONTEL, E.; CONTI, I. L. **Convivência com o Semiárido: aprendizados, desafios e perspectivas.** In:___ CONTI, I. L.; SCHROEDER, E. O. Convivência com o semiárido brasileiro: autonomia e protagonismo social. (organizadores). Editora IABS, Brasília-DF, 2013. 208p.

POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 19-27, 2003.

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 693-700, 2010.

PREVEDELLO, J. **Dinâmica do armazenamento e da disponibilidade de água em Argissolo sob eucalipto e campo nativo.** 2012. 120 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

PUPIN, B.; RANGEL, D. E. N.; NAHAS, E. Response of CO₂ efflux from forest and annual crop as a function of water retention capacity and the addition of nitrogen. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 105, n. 4, p. 299-306, 2018.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** São Paulo, Manole, 1987. 188 p.

RODRIGUES, S.; SILVA, A. P. S.; GIAROLA, N. F. B.; ROSA, J. A. Permeabilidade ao ar em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 105-114, 2011.

SÁ, I. B.; FOTIUS, G. A.; RICHÉ, G. R. **Degradação ambiental e reabilitação natural do trópico semiárido brasileiro.** In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO, 1994, Fortaleza: ESQUEL, 1994.

SÁ, I. B.; FOTIUS, G. A.; RICHE, G. R. **Desertificação no semiárido brasileiro**. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL CLIMA, SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS - ICID+18, 2. Fortaleza, 2010.

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, p. 223-232, 2006.

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

SANTOS FILHO, P. F.; TOMAZ, P. A.; RABELO, F. D. B.; AGUIAR, P. F. Clima semiárido e processo de desertificação em Forquilha – CE e as influências das atividades rurais. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p. 1043-1055, 2012.

SANTOS, M. J.; BOMFIM, E. O.; ARAÚJO, L. E.; SILVA, B. B. Programa um milhão de cisternas rurais: matriz conceitual e tecnológica. **UNOPAR Científica: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 35-43, nov. 2009.

SANTOS, T. C. G. S.; LUZ, E. L. P.; EL-DEIR, S. G. Avaliação de espécies vegetais como bioindicadores de áreas degradadas na caatinga. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 1., 2016, Campina Grande. **Anais...** - Campina Grande: CEMEP, 2016, p. 1-12.

SÁ, P. C. C.; VALE, C. N. C.; MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A. Índice S e área sob curva de retenção de água para avaliar qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, p. 110-114, 2010.

SAS INSTITUTE. Statistical analysis systems user's guide: version 6.12. USA, Cary, 1996.

SCHERPINSKI, C.; URIBE-OPAZO, M. A.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; JOHANN, J. A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 32, p. 7-13, 2010.

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca (PAE-CE)**. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente, 2010. 372p.

SILVA, A. P.; LEÃO, T. P.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A. Determinação da permeabilidade ao ar em amostras indeformadas de solo pelo método da pressão decrescente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1535-1545, 2009a.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; BANDEIRA, L. B.; DIAS, B. O.; SILVA NETO, L. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 10, p. 1783-1789, 2014.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA, L. M. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 338-345, 2012.

- SILVA, G. S. **Qualidade física de um argissolo acinzentado do município de Pacajus (CE) após a aplicação de resíduo de caju**. 2013. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- SILVA JÚNIOR, R. D. Etnoconservação e o conceito de relações de poder: apontamentos teórico-metodológicos. **Cadernos de Campo**, v. 1, n. 12, p. 89- 105, 2009.
- SILVA, R. M. A. Entre dois paradigmas: combate à seca e convivência com o semiárido. **Revista Sociedade e Estado**, Brasília, v. 18, n. 1-2, 361-385, 2003.
- SILVA, R. M. P.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C. Alteração da cobertura vegetal na Sub-Bacia do Rio Espinharas de 2000 a 2010. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 202-209, 2014.
- SILVA, W. M.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; FERRI, M.; MAGALHÃES, W. A. Atividade microbiana e decomposição de diferentes resíduos orgânicos em um solo sob condições de campo e estresse hídrico simulado. **Agrarian**, v. 2, n. 6, p. 33-46, 2009.
- SILVA, W. T. M.; LEONARDO, F. A. P.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; LUCENA, J. D. S.; MEDEIROS NETO, P. H. Deposição de serrapilheira em áreas de Caatinga no Núcleo de Desertificação do Seridó. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 12, n. 4, p. 383-390, 2016.
- SILVEIRA, L. R.; BRITO, A. S.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O.; LIBARDI, P. L. Sistema de aquisição de dados para equipamento de medida da permeabilidade intrínseca do solo ao ar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 429-436, 2011.
- SIQUEIRA, R. H. S.; FERREIRA, M. M.; ALCÂNTARA, E. N.; SILVA, B. M.; SILVA, R. C. Water retention and s index of an oxisol subjected to weed control methods in a coffee crop. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 38, n. 5, p. 471-479, 2014.
- SOARES, A. M. L.; LEITE, F. R. B.; LEMOS, J. J. S.; MARTINS, M. L. R.; MERA, R. D. M. & OLIVEIRA, V. P. V. **Áreas degradadas susceptíveis ao processo de desertificação no Ceará**. In: GOMES, G. M.; SOUZA, H. R. & MAGALHÃES, A. R. Desenvolvimento Sustentável no Nordeste, IPEA, Brasília, 1995.
- SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, USDA, 1993. 437 p. (Handbook, 18).
- SOUSA, F. P.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O. **Efeito do sobrepastejo e da exclusão de animais em solos sob processo de desertificação no semiárido cearense**. In: OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. (Org.). Monitoramento da desertificação em Irauçuba. 1ª. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 165-186, 2015.
- SOUZA, H. A.; CAVALCANTE, A. C. R.; TONUCCI, R. G.; POMPEU, R. C. F. F.; SOUZA, M. C. M. R. **Diagnóstico da fertilidade do solo em áreas de sequeiro de agricultores familiares em municípios do Sertão dos Inhamuns, Ceará**. Comunicado Técnico 145 (on-line), Sobral, p. 1-9, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126439/1/cnpc-2015-Cot-145.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2018.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE.

Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação nos Países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África. 1ª edição, Teresina, 2000. 83p.

TABLE CURVE 2D. **Table Curve 2D (Trial Version 5.01), 2014.** Disponível em: <<http://www.sigmaplot.com/products/tablecurve2d/tablecurve2d.php>>. Acesso em 19 mai. 2014.

TEIXEIRA, M. N. O sertão semiárido. Uma relação de sociedade e natureza numa dinâmica de organização social do espaço. **Sociedade e estado**, Brasília, v. 31, n. 3, p. 769-797, 2016.

TOEBE, C. S. **Processo de constituição da consciência ambiental dos produtores rurais da mesorregião noroeste riograndense: uma reflexão sobre o discurso e a prática.** 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Campus Ijuí), 2016.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I.; SILVA, A. B. Secas, desertificação e políticas públicas no semiárido nordestino brasileiro. **OKARA: Geografia em debate**, v. 7, n. 1, p. 147-164, 2013.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, p. 892-897, 1980.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, 2011.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MARCHÃO, R. L. Integração lavoura-pecuária-floresta: alternativa para intensificação do uso da terra. **Revista UFG**, Goiânia, v. 13, p. 92-99, 2012.

APÊNDICE A – PARÂMETROS DE AJUSTE PARA A CCAS

Tabela 14. Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten para a curva característica de água no solo

Tratamentos*	Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten				
	θ_{sat}	θ_{res}	α	m	n
	-----cm ³ cm ⁻³ -----		-hPa-		
T	0,390	0,044	0,271	8,318	1,023
S+B+BC	0,383	0,048	0,235	2,644	0,768
S+B	0,383	0,068	0,511	1,288	4,146
L+B+BC	0,376	0,086	0,102	2,433	0,826
L+B	0,397	0,033	0,461	0,912	1,214
J+B+BC	0,376	0,077	0,351	1,062	1,078
J+B	0,380	0,075	0,170	1,670	1,076
P	0,479	0,166	0,106	6,028	1,508

*T = testemunha; S+B+BC = Sábíá+E. Bovino+Bagana de Carnaúba; S+B = Sábíá+E. Bovino; L+B+BC = Leucena+E.Bovino+Bagana de Carnaúba; L+B = Leucena+E. Bovino; J+B+BC = Jurema+E. Bovino+Bagana de Carnaúba; J+B = Jurema+E. Bovino; P = Pousio.