



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DOUTORADO TEMÁTICO EM RECURSOS NATURAIS**



**INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE
VERTISSOLOS NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO VÁRZEAS DE SOUSA
E SUAS IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS, SOCIAIS E AMBIENTAIS
NA REGIÃO**

**TESE DE DOUTORADO
IVONETE BERTO MENINO**

Campina Grande
Universidade Federal de Campina Grande

2013

IVONETE BERTO MENINO

**INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE
VERTISSOLOS NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO VÁRZEAS DE SOUSA
E SUAS IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS, SOCIAIS E AMBIENTAIS
NA REGIÃO**

Orientadores: Prof. Dr. JOÃO MIGUEL DE MORAES NETO

Tese apresentada à Coordenação do Curso de
Doutorado Temático em Recursos Naturais, do
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, da
Universidade Federal de Campina Grande, em
cumprimento às exigências para obtenção do
Título de Doutor.

Área de Concentração: Sociedade e Recursos Naturais

Linha de Pesquisa: Gestão dos Recursos Naturais

Campina Grande
Universidade Federal de Campina Grande

2013

M545i Menino, Ivonete berto.

Indicadores físicos, químicos e biológicos de vertissolos no Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa e suas implicações econômicas, sociais e ambientais na região. / Ivonete Berto Menino. - Campina Grande - PB: [s.n], 2013.

132 f.

Orientador: Professor Dr. João Miguel de Moraes Neto.

Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

1. Vertissolos - indicadores físicos. 2. Vertissolos - indicadores químicos. 3. Vertissolos - indicadores biológicos. 4. Bioquímica do solo. 5. Várzeas de Sousa - PB - Irrigação. 6. Pedologia. 7. Solos da Paraíba - sertão. 8. Projeto de Irrigação das Várzeas de Sousa - PIVAS. 9. Sistemas de manejo - solos. 10. Vulnerabilidades agrossocioeconômicas e ambientais. 11. Teste de Student-Newman-Keuls. 12. Landsat TM5 - imagens. 13. Análise de espaço temporal - solos. 14. Avaliação do uso do solo. 15. Agricultores familiares - Sousa - PB. 16. Agricultura irrigada - Sousa - PB. 17. Perímetro irrigado - Sousa - PB. I. Moraes Neto, João Miguel de. II. Título.

CDU:631.4(043.3)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

**INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE
VERTISSOLOS NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO VÁRZEAS DE SOUSA
E SUAS IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS, SOCIAIS E AMBIENTAIS
NA REGIÃO**

APROVADA EM:

BANCA EXAMINADORA

Dr. JOÃO MIGUEL DE MORAES NETO
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Professor Dr. GESINALDO ATAÍDE CÂNDIDOS
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Dr. MARX PRESTES BARBOSA
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Dra. SIMONE MIRTES ARAÚJO DUARTE
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Dr. ADILSON DAVID DE BARROS
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

"Se aprendermos a linguagem
do solo, ele falará conosco"

Nyle C. Brady

“Não se aprende, Senhor, na fantasia,
sonhando, imaginando ou filosofando, senão
vendo, tratando e pelejando.”

Os Lusíadas

Ao meu pai, *Afonso Berto Menino*, “*in memoriam*” pelos exemplos que me deixou, os quais contribuem para a minha determinação e perseverança. À minha mãe, *Alice Menino da Conceição*, eterna fonte de inspiração, paciência, simplicidade e motivação.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha saúde, determinação e força nos momentos difíceis dessa pesquisa.

Ao Professor Dr. João Miguel de Moraes Neto, orientador e amigo, que soube conduzir-me com habilidade, confiando e exigindo durante o desenvolvimento de todas as etapas desse trabalho.

À Universidade Federal de Campina Grande, através do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, pela oportunidade da realização do curso.

À Emepa - Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária, por sua contribuição para sociedade brasileira, pela política de incentivo à capacitação de seus técnicos e pelo apoio à realização deste trabalho de tese.

Ao professor Dr. Marx Prestes Barbosa, pela amizade, disponibilidade, simplicidade, competência nos ensinamentos, fonte inesgotável de saber e de respeito ao próximo. Levo seu exemplo comigo!

Ao gerente do PIVAS, o engenheiro agrônomo Demilson Lemos de Araújo, pela atenção e valiosas informações, e as empresas Fazenda Águas de Tamanduá, Santana Agropecuária Ltda e Assentamento Nova Vida I pelo apoio permissão para o desenvolvimento da pesquisa nas áreas agrícolas e aplicação de questionários.

Aos colegas da Emepa, em particular ao “*nosso cientista*” Dr. Elson Soares dos Santos, pelas análises estatísticas, valiosas sugestões e revisão do trabalho, e ao Dr. Sebastião de Oliveira Pereira, pela imensurável colaboração nos trabalhos de campo.

Ao Engenheiro Cartógrafo e amigo Miguel José da Silva, do Laboratório de Sensoriamento Remoto UFCG-PB, pela significativa colaboração no processamento digital das imagens e editoração dos mapas.

Aos colegas Euzeli Cipriano e Lázaro Costa pelo apoio recebido na Estação Experimental de Aparecida-PB, durante as etapas dos trabalhos de campo.

Ao Dr. Camilo Flamarion de Oliveira Franco pela amizade e gentileza de fazer-se meu conselheiro acadêmico diante à Embrapa, apoiando-me nas articulações necessárias no decorrer do curso.

Ao meu irmão João e as queridas irmãs companheiras na batalha da vida Salete e Silvonete pelo apoio incondicional, incentivo, e compreenderem minhas ausências e stress.

À Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa, pelo financeiro no decorrer da pesquisa.

À secretaria de Pós-graduação em Recursos Naturais Cleide dos Santos pelas gentilezas recebidas e aos colegas do curso doutorado pelo companheirismo e amizade.

Obrigada!

MENINO, I. B. Indicadores físicos, químicos e biológicos de Vertissolos no Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa e suas implicações econômicas, sociais e ambientais na região 2013. 132 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2013.

RESUMO

O desenvolvimento socioeconômico regional está associado a uma agricultura tecnificada eficiente para o aumento e estabilidade da produção de alimentos, geração de emprego e renda. A implementação de perímetros irrigados se torna importante por aumentar a produtividade, reduzir a sazonalidade da oferta de alimentos onde a falta de chuvas é fator limitante. Visando impulsionar a agricultura irrigada no semiárido paraibano, em especial, a fruticultura, foi concebido o Projeto de Irrigação das Várzeas de Sousa (PIVAS), substituindo, aos poucos, as áreas da caatinga por diferentes sistemas de exploração agrícola. Essa mudança na utilização do solo ocasiona o desequilíbrio no ecossistema, que associada à ocorrência dos Vertissolos de difícil manejo, requer o conhecimento dos seus atributos como indicadores de técnicas de manejo sustentáveis que garantam altas produtividades sem comprometimento econômico e ambiental do empreendimento. O objetivo do trabalho foi identificar os indicadores físicos, químicos e biológicos dos Vertissolos existentes no Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa, assim como as suas implicações econômicas, sociais e ambientais na região. O experimento foi conduzido no PIVAS, em três lotes cultivados intensivamente, há quatro anos, com os sistemas de manejo convencional (SMC), orgânico (SMO) e da caatinga (SMCa). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm, para avaliação dos atributos físicos, químicos e biológicos. Os dados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5%. Por meio das imagens Landsat TM 5, fez-se uma análise espaço temporal (1998 a 2011) para avaliação do uso do solo e vegetação da caatinga. Foram aplicados questionários para conhecimento das vulnerabilidades agrossocioeconômicas e ambientais dos produtores familiares. O sistema de manejo orgânico comportou-se próximo ao SMCa, com melhores teores dos atributos físicos do solo em relação ao SMC. Os atributos químicos foram pouco afetados pelo uso do solo para os três sistemas de manejo. No período estudado ocorreu decréscimo das áreas cobertas por vegetação da caatinga densa e rala de 70,32% e 37,47%, respectivamente, e 54,73% dos solos expostos com uma expansão de área agrícola de 303%. O PIVAS apresentou vulnerabilidades socioeconômicas e ambientais médias e vulnerabilidade tecnológica alta com 33,12%, refletindo a carência da assistência técnica e práticas conservacionistas. A qualidade dos Vertissolos pode ser mantida por monitoramento dos indicadores densidade do solo, porosidade, resistência à penetração, teor de matéria orgânica e capacidade de troca de cátions.

Palavras-Chave: Atributos físicos, Atributos químicos, Várzeas de Sousa, lotes, sistemas de manejo, vulnerabilidade.

MENINO, I. B. Indicators physical, chemical and biological of Vertisols in Irrigation Project Floodplains de Sousa and its economic, social and environmental implications in the region. 2013. 132 p. Thesis (Doctorate in Natural Resources) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2013.

ABSTRACT

The regional socioeconomic development is associated with a farming technified efficient for the increase and stability of food production, generation of employment and income. The implementation of irrigated perimeters becomes important to increase productivity, reduce the seasonality of food supply where lack of rainfall is a limiting factor. To boost irrigated agriculture in the semiarid Paraíba, especially fruit trees, was designed the Irrigation Project of Wetlands of Sousa (IPWS), replacing gradually areas of caatinga by different farming systems. This change in land use causes an imbalance in the ecosystem, which associated with the occurrence of Vertisols unwieldy, requires knowledge of its attributes as indicators of sustainable management techniques that ensure high productivity without compromising economic and environmental of the enterprise. The objective of this work was to identify the indicators physical, chemical and biological of Vertisols of the Irrigation Project Floodplains de Sousa, as well as their economic, social and environmental implications in the region. The experiment was carried out in IPWS in three batches cultivated intensively for four years, with conventional management systems (CMS), organic (OMS) and caatinga (CaMS). Soil samples were collected at 0-20, 20-40 and 40-60 cm for evaluation of the physical, chemical and biological attributes. Data were subjected to analysis of variance and mean comparison by test of Student-Newman-Keuls at 5%. Through the Landsat TM 5 did a temporal space analysis (1998 to 2011) for assessment of land use and vegetation of the caatinga. Questionnaires were applied to knowledge of the vulnerabilities agro-socioeconomics and environmental of the family farmers. The organic management system behaved near the CaMS, with better levels of soil physical properties in relation to CMS. The chemical attributes were little affected by land use for the three tillage systems. During the study period there was a decrease of the areas covered by dense vegetation and sparse scrub of 70.32% and 37.47%, respectively, and 54.73% of exposed soils with an expansion of the agricultural area of 303%. The vulnerabilities presented IPWS socioeconomic and environmental medium and high technological vulnerability with 33.12%, reflecting the lack of technical assistance and conservation practices. The quality of Vertisols can be kept for monitoring indicators of density, porosity, penetration resistance, organic matter content and cation exchange capacity.

Keywords: Physical attribute, attribute chemical, Wetlands of Sousa, lots, management systems, vulnerability.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	05
AGRADECIMENTOS	06
RESUMO	08
ABSTRACT	09
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	16
LISTA DE QUADROS	18
ABREVIATURAS	19
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUÇÃO	21
1.1. Objetivo Geral	23
1.2. Objetivos Específicos	23
CAPÍTULO 2	
2. REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1. Aspectos Sociais e Contribuição Científica do Estudo	24
2.2. Concepção Histórica do Projeto	26
2.3. Ambiência e Interdisciplinaridade do Projeto Várzeas de Sousa	27
2.4. Atributos do Solo como Indicadores de Qualidades dos Vertissolos em diferentes Sistemas de Manejo	29
2.5. Atributos Físicos, Químicos e Biológicos do Solo	32
2.6. Espaço Temporal e Vulnerabilidades Agrossocioeconômica	36
CAPÍTULO 3	
3. MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1. Delimitação da Pesquisa	39
3.2. Localização Geográfica e Caracterização da Área	40
3.3. Aspectos do Clima	41
3.4. Aspectos Geológicos e Geomorfológicos	43
3.5. Aspectos Pedológicos e Ocorrência dos Solos	44

3.6.	Aspectos Hídricos e da Vegetação	46
3.7.	Segmento 1. Avaliação dos Indicadores de Sustentabilidade para Vertissolos	47
3.7.1.	Materiais - Seleção da área experimental	47
3.7.2.	Métodos - Coleta de dados	49
3.7.2.1.	Atributos físicos	50
3.7.2.2.	Atributos químicos	50
3.7.2.3.	Indicadores ambientais	51
3.8.	Métodos de Avaliação dos Indicadores Físicos, Químicos e Biológicos nos Vertissolos	51
3.9.	Resistência à Penetração	54
3.10.	Delineamento Estatístico	55
3.11.	Segmento 2. Análise do Espaço Temporal do Uso do Solo e da Vegetação da Caatinga	56
3.11.1.	Material cartográfico	56
3.11.2.	Georreferenciamento ou registro das imagens	57
3.11.3.	Processamento digital das imagens	57
3.11.4.	Manipulação de contraste das bandas 5, 4 e 3	58
3.11.5.	Operações aritméticas - razão entre bandas – IVDN das bandas 4 e 3	58
3.11.6.	Composição multiespectral ajustada ($b_3 + IVDN + b_1$) - (CMA)	59
3.11.7.	Segmentação das imagens IVDN por crescimento de regiões	59
3.11.8.	Classificação de padrões das imagens IVDN	59
3.11.9.	Análise das imagens digitais do TM/LANDSAT-5 para interpretação preliminar	60
3.11.10.	Trabalho de campo	61
3.11.11.	Análise do solo da cobertura vegetal	62
3.12.	Segmento 3. Diagnóstico das Vulnerabilidades Socioeconômicas e Ambiental	63
3.12.1.	Aplicação de questionários para o diagnóstico socioeconômico	63
3.12.2.	Editarações de mapas temáticos	65
 CAPITULO 4		
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.1.	Atributos físicos	66

4.2.	Resistência à penetração	69
4.3.	Atributos químicos	73
4.4.	Características ambientais e ocorrência da vegetação	76
4.5.	Análise de variância para os atributos estudados	80
4.6.	Coeficiente de correlação de Pearson para os atributos físicos do solo	85
4.7.	Análise do Espaço Temporal Uso da Terra e Vegetação	92
4.8.	Análise das Vulnerabilidades Socioeconômicas e Ambientais	98
4.8.1.	Vulnerabilidade social	100
4.8.2.	Vulnerabilidade econômica	105
4.8.3.	Vulnerabilidade tecnológica	111
4.3.4.	Vulnerabilidade ambiental	112
5.	CONCLUSÕES	114
6.	MEDIDAS MITIGADORAS	115
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
8.	ANEXOS	133

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3

- Figura 3.1.** Delimitação da pesquisa ressaltando os pontos de interesse. 38
- Figura 3.2.** Localização geográfica da área de estudo, Projeto Várzeas de Sousa-PB. 39
- Figura 3.3.** Mapa Geológico Regional. 43
- Figura 3.4.** Solos: A) VERTISSOLO HÁPLICO Carbonático típico - VXk. 45
B) Estrutura do solo em blocos subangulares, forte, muito grande.
- Figura 3.5.** Lote empresarial 07, área experimental com sistema de cultivo convencional. 48
- Figura 3.6.** Lote empresarial 06, área experimental com sistema de cultivo orgânico. 48
- Figura 3.7.** Lote empresarial 13, área experimental com sistema de cultivo natural da caatinga. 49
- Figura 4.8.** Georreferenciamento: A) pontos para abertura das minitrincheiras; B) no sistema de manejo convencional C) no sistema de manejo orgânico D) no sistema de manejo caatinga. 50
- Figura 3.9.** Avaliação da resistência à penetração no sistema de manejo convencional. 54
- Figura 3.10.** Níveis críticos de resistência à penetração em função do teor de argila do solo 55
- Figura 3.11.** Aplicação dos questionários: A) em lotes do Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB e B) no Assentamento Nova Vida I. 64

CAPÍTULO 4

- Figura 4.1.** Minitrincheira no sistema de manejo convencional lote 07, evidenciando: A) adensamento nos horizontes do solo; B) na camada superficial do solo; C) Minitrincheira no sistema de manejo orgânico, lote - 06, evidenciando melhor estruturação e menor adensamento do solo; D) Condições naturais de fendilhamento do solo no sistema de manejo orgânico. 68

Figura 4.2.	Microrrelevo “gilgai” decorrente da presença de argilominerais do tipo montmorilonita e ilita de grade 2:1.	69
Figura 4.3.	Resistência à penetração para os três sistemas de manejo e três profundidades	70
Figura 4.4.	Incorporação de restos culturais de milho ao solo - lote 07.	71
Figura 4.5.	Presença de minhocas na camada superficial do solo, evidências de galerias e cropólitos, lote 06.	77
Figura 4.6.	Malva Branca indicadora de solos em processo de degradação, lote 07.	78
Figura 4.7.	Plantas leguminosas presentes no lote 06: A) Jureminha; B) ervilha borboleta.	78
Figura 4.8.	Espécies arbóreas de ocorrência esparsa presentes no lote 13: A) Catingueira; B) Pereiro.	79
Figura 4.9.	Precipitações pluviiais para ano de 1998 e 2011 no Município de Sousa-PB	92
Figura 4.10.	Composição multiespectral ajustada (CMA), para o ano de 1998.	93
Figura 4.11.	Fragmentos de vegetação representativa no ano de 1998 antes da implantação do projeto (A) com explorações agrícolas e (B) mata de carnaúba.	94
Figura 4.12.	Setor IV lote 11, próximo ao Rio Piranhas, (A) corte de oiticica e (B) corte de juazeiro.	94
Figura 4.13.	Índices das composições multiespectral ajustada (CMA), para o ano de 2011.	95
Figura 4.14.	Visualização das medidas de classe da vegetação da caatinga das imagens TM Lansat ano 1998 e 2011 na área de abrangência do PIVAS - Sousa-PB.	96
Figura 4.15.	Classes de cobertura vegetal da caatinga mapeada para o ano de 1998.	97
Figura 4.16.	Classes de cobertura vegetal da caatinga mapeada para o ano de 2011.	97
Figura 4.17.	Vulnerabilidades: A) social, B) econômica, C) tecnológica e D) ambiental das famílias do Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa, PB.	99

Figura 4.18.	Vulnerabilidades: A) social, B) econômica, C) tecnológica e D) Ambiental do Assentamento Nova Vida I.	100
Figura 4.19.	Distribuição de pessoas nas famílias por faixa etária, no Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa e Assentamento Nova Vida I.	101
Figura 4.20.	Nível de escolaridade das famílias no Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa e Assentamento Nova vida I.	102
Figura 4.21.	Tipo de habitação: A) Assentamento Nova Vida I. B) Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB.	102
Figura 4.22.	Tipos de abastecimento humano do Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB.	103
Figura 4.23.	Qualidade da habitação e piso: A) Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB e B) Assentamento Nova Vida I.	104
Figura 4.24.	A) Tipo de abastecimento humano do Assentamento Nova Vida I; B) Uso da água potável do Assentamento Nova Vida I e Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB.	104
Figura 4.25.	Assentamento Nova Vida I: A) Coleta seletiva do lixo B) Uso de eletrodomésticos.	105
Figura 5.26.	Exploração de culturas em lotes de agricultura familiar: A) coco B) banana.	107
Figura 4.27.	Exploração de hortaliças em sistema de produção orgânica no setor 6, lote 05, com a participação da família.	108
Figura 4.28.	Absorção de mão-de-obra para os tratamentos culturais no final do ciclo da cultura do algodão no lote 07.	110
Figura 4.29.	Fontes de renda das famílias do projeto Várzeas de Sousa-PB e do Assentamento Nova Vida I.	111

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1.	Distribuição da precipitação pluviométrica de Sousa-PB, no período de 1998 a 2011.	42
Tabela 3.2.	Dados climatológicos médios da estação convencional de São Gonçalo-PB, no período de 1998 a 2005.	42
Tabela 3.3.	Comparação das medidas de classe imagens TM Lansat ano 1998 e 2011 na área de abrangência do PIVAS - Sousa-PB.	63
Tabela 3.4.	Divisão das classes de vulnerabilidades.	64
Tabela 3.5.	Fator vulnerabilidade e as respectivas variáveis estudadas.	65

CAPÍTULO 4

Tabela 4.1.	Atributos físicos dos Vertissolos para os sistemas de manejo convencional (SMC), sistema de manejo orgânico (SMO) e sistema de manejo caatinga (SMCa) nas três profundidades estudadas.	67
Tabela 4.2.	Atributos físicos (hídricos) e salinidade dos vertissolos para os sistemas de manejo convencional (SMC), sistema de manejo orgânico (SMO) e sistema de manejo caatinga (SMCa) nas três profundidades estudadas.	72
Tabela 4.3.	Atributos químicos dos Vertissolos para os sistemas de manejo convencional (SMC), sistema de manejo orgânico (SMO) e sistema de manejo caatinga (SMCa) nas três profundidades estudadas.	74
Tabela 4.4.	Análise de variância para os atributos físicos do solo.	80
Tabela 4.5.	Análise de variância para os atributos químicos do solo.	81
Tabela 4.6.	Análise de variância para os atributos hídricos e de salinidade do solo.	81
Tabela 4.7.	Média do atributo físico resistência à penetração para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.	82

Tabela 4.8.	Média do atributo químico carbono orgânico para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.	82
Tabela 4.9.	Média do atributo químico nitrogênio para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.	83
Tabela 4.10.	Média do atributo químico matéria orgânica para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.	83
Tabela 4.11.	Média do atributo químico Ca^{2+} para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.	84
Tabela 4.12.	Média do atributo hídrico capacidade de campo a 1/3 atm para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.	84
Tabela 4.13.	Média do atributo hídrico água disponível para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.	84
Tabela 4.14.	Coefficientes de correlação de Pearson entre atributos físicos de um Vertissolo submetidos ao sistema de manejo convencional.	85
Tabela 4.15.	Coefficientes de correlação de Pearson entre atributos físicos de um Vertissolo submetidos ao sistema de manejo orgânico.	86
Tabela 4.16.	Coefficientes de correlação de Pearson entre atributos físicos de um Vertissolo submetidos ao sistema de manejo caatinga.	87
Tabela 4.17.	Coefficientes de correlação de Pearson entre atributos químicos de um Vertissolo submetidos ao sistema de manejo convencional.	88
Tabela 4.18.	Coefficientes de correlação de Pearson entre atributos químicos de um Vertissolo submetidos ao sistema de manejo orgânico.	90
Tabela 4.19.	Coefficientes de correlação de Pearson entre os atributos químicos de um Vertissolo submetidos ao sistema de manejo caatinga.	91

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 3

Quadro 3.1.	Detalhamento da ocupação atual da área projeto.	41
Quadro 3.2.	Resumo das classes de solos da área em estudo.	44
Quadro 3.3.	Perfil modal de Vertissolos - Características gerais, morfológicas, físicas e químicas.	45
Quadro 3.4.	Guia para avaliação dos indicadores físicos de sustentabilidade nos Vertissolos.	52
Quadro 3.5.	Guia para avaliação dos indicadores químicos de sustentabilidade nos Vertissolos.	53
Quadro 3.6.	Guia para avaliação dos indicadores ambientais de sustentabilidade nos Vertissolos.	53
Quadro 3.7.	Imagens TM/Landsat (1998-2011) utilizadas na pesquisa.	56
Quadro 3.8.	Amostragem da inspeção de campo realizada em 16.08.2011 para validação dos resultados.	61
Quadro 3.9.	Indicadores fotointerpretativos dos níveis de degradação.	62

CAPÍTULO 4

Quadro 4.1.	Área e produções alcançadas nos lotes explorados com agricultura familiar no Perímetro Irrigado Várzeas de Sousa no ano de 2011.	106
Quadro 4.2.	Área e produções alcançadas nos lotes empresariais no Perímetro Irrigado Várzeas de Sousa no ano de 2011.	107
Quadro 4.3.	Produção e valor bruto por categoria de irrigante em relação à área ocupada em 2011.	109

ABREVIATURAS

- AESA** - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
- Al³⁺** - Alumínio
- CE** - Condutividade elétrica
- C/N** - Relação carbono nitrogênio
- Ca²⁺** - Cálcio
- CMA** - Composição Multiespectral Ajustada
- Cmolc dm⁻³** - centimol por decímetro cúbico
- CO** - Carbono orgânico
- CTC** - Capacidade de troca catiônica
- DNOCS** - Departamento Nacional de Obras contra as Secas
- DPI** - Divisão de Processamento de Imagens
- DS** - Densidade do solo
- EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EMEPA** - Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S.A.
- EMPASA** - Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas
- FAO** - Fundo das Nações Unidas para Agricultura
- g cm⁻³** - grama por centímetro cúbicos
- g kg⁻¹** - grama por kilograma
- GPS** - Global Positioning System
- H** - Hidrogênio
- HIDROSERVICE** - Engenharia de Projetos Ltda.
- IBAMA** - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
- INCRA** - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
- INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IVDN** - Índices de Vegetação por Diferença Normalizada
- k⁺** - Potássio
- LE's** - Lotes
- m³ m⁻³** - Metro cúbico por metro cúbico

- Mg²⁺** - Magnésio
- Mpa** - Megapascal
- P** Fósforo
- pH** - Potencial hidrogeniônico
- PIVAS** - Perímetro Irrigado das Várzeas de Sousa
- PNUD** - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
- PP** - Preservação permanente
- PT** - Porosidade total
- RGB** - Red; Green; Blue
- RL** - Reserva Legal
- RP** - Resistência à penetração
- S** - Saturação de bases
- SEDAP** - Secretaria de Estado do Desenvolvimento da Agricultura e da Pesca.
- SISCAV** - Sistema de Cálculo de Vulnerabilidades
- SEMARH** - Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba
- SMC** - Sistema de Manejo Convencional
- SMCa** - Sistema de Manejo Caatinga
- SMO** - Sistema de Manejo Orgânico
- SPRING** - Sistema para processamento de Informações Georreferenciadas
- SUDENE** - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
- SUPLAN** - Superintendência de Obras do Plano de Desenvolvimento do Estado
- T** - Capacidade de Troca de Cátions efetiva
- TM** - Thematic Mapper
- V%** - Percentagem de Saturação de Bases

CAPITULO 1

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico de uma região nos últimos anos está associado ao resultado de uma agricultura tecnificada e da adoção de tecnologias, as quais são importantes não só para o aumento e estabilidade na produção de alimentos, mas também, para um crescimento econômico através da geração de empregos e distribuição de renda. Neste ponto, a implementação de perímetros irrigados torna-se muito importante, por aumentar a produtividade e reduzir a sazonalidade da oferta de alimentos no decorrer do ano onde a falta de chuvas é fator limitante.

Visando impulsionar a agricultura irrigada no Sertão Paraibano, particularmente, a fruticultura, foi instalado na Paraíba o Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa, caracterizado como um dos grandes empreendimentos de irrigação do Estado. Essa realidade se notabiliza pelo reconhecido potencial socioeconômico e hídrico, tornando viáveis atividades hidroagrícolas que beneficiem tanto produtores familiares, quanto empresários cuja produção destina-se à exportação do agronegócio familiar.

Gradativamente, as áreas da caatinga são substituídas por diferentes sistemas de uso, como: culturas agrícolas, pastagens e pecuária. Essa mudança na utilização do solo ocasiona desequilíbrio no ecossistema, uma vez que a técnica de manejo empregada influencia os processos físicos, químicos e biológicos do mesmo, modificando suas características e, muitas vezes, propiciando sua degradação e, conseqüentemente, inviabilizando sua utilização ou aproveitamento agrícola.

As áreas do projeto várzeas de Sousa compreendem a classe de solos Vertissolos (26,60%), os quais apresentam como principal característica a presença de mais de 40% de argila ao longo do perfil, conferindo-lhes uma textura argilosa, com elevado conteúdo de argilo-minerais expansíveis que provocam pronunciada mudança de volume de acordo com a variação do teor de umidade, ou ainda a presença de fendas de retração largas e profundas que se abrem desde o topo do perfil, nos períodos secos (SEMARH/EMEPA, 1998). Essas características dificultam o manejo e denotam a urgência de que esses solos, para um aproveitamento agrícola sustentável, necessitam de conhecimento de seus atributos físicos, químicos e biológicos.

Embora o uso da irrigação para produção agrícola nos Vertissolos tenha sofrido sérias críticas em razão das condições edáficas predominantes, solos argilosos, alto risco à salinização e sodificação, o que torna a sustentabilidade do projeto um desafio. Mas, as críticas sobre a implementação da irrigação nessas áreas, baseadas simplesmente nos aspectos mencionados, não mensurando a importância da irrigação na produção de alimentos e no desenvolvimento socioeconômico do Semiárido Nordeste, podem ser consideradas improcedentes ou irracionais. É notório que as áreas rurais situadas nas zonas semiáridas do Nordeste Brasileiro possuem, em geral, água em quantidade insuficiente para satisfazer as variadas demandas de sua população das plantas e animais, que vivem no limite de suas possibilidades, mas, o maior descaso é a falta de políticas públicas na gestão dos recursos naturais para alavancar o potencial econômico e produtivo da região. Assim, as consequências podem advir se o radicalismo de uma única visão prevalecer para técnicos, planejadores e legisladores na inexistência de tais políticas públicas, afetando diretamente à população e servindo de desestímulo ao agricultor familiar, em especial aquele residente na zona rural semiárida, bem como, ao desenvolvimento agrícola do Estado da Paraíba e do Brasil (CHRISTOFIDIS, 2001).

O planejamento ambiental e a viabilidade econômica devem ser metas prioritárias para a sustentabilidade de um projeto de irrigação, em razão do amplo alcance social às populações residentes, assegurando a geração de empregos e o fortalecimento da produção agrícola.

Outro fator importante são as condições de vida da população, muitas vezes agravadas pelos desastres que contribuem para aumentar a dívida social e intensificar as desigualdades inter e intrarregionais, com reflexos no desenvolvimento do País. Grande número de desastres é provocado pelas migrações internas, que levam à formação de bolsões e cinturões de extrema pobreza nos centros urbanos provenientes de áreas de projetos de irrigação mal conduzidos, de inundações, de deslizamentos de encostas, de incêndios, dentre outros. Tudo isso, em decorrência da falta de planejamento na ocupação e/ou utilização do espaço geográfico, onde os riscos, somados à deficiência da fiscalização local e orientações técnicas são desconsiderados e contribuem para aumentar a vulnerabilidade das comunidades locais, urbanas e rurais, aumentando os percentuais de áreas degradadas, pobreza, exclusão sociais e incidindo em vultosos prejuízos econômicos (MOREIRA, 2010).

Diante da dificuldade de manejo dos Vertissolos e da alta suscetibilidade à degradação, no projeto, foram selecionados três lotes, os quais são trabalhados com o sistema de manejo convencional (lote 7), sistema de manejo orgânico (lote 6) e sistema natural da caatinga (lote 13) para o conhecimento dos indicadores físicos, químicos e biológicos

visando contribuir com a agricultura regional, manter a exploração agrícola sustentável e indicar técnicas eficientes de manejo para viabilidade socioeconômica do empreendimento.

1.1. Objetivo Geral

Identificar os indicadores físicos, químicos e biológicos dos Vertissolos existentes no Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa, assim como as suas implicações econômicas, sociais e ambientais na região.

1.2. Objetivos Específicos

- a) Definir os indicadores de sustentabilidade para exploração agrícola dos solos Vertissolos estudados nos três sistemas de manejo;
- b) Verificar as características físicas e químicas mais eficientes na avaliação do comprometimento da qualidade do solo;
- c) Avaliar as vulnerabilidades sociais, econômicas e ambientais do projeto de Irrigação das Várzeas de Sousa;
- d) Averiguar por meio do estudo espaço temporal os impactos ambientais do uso da terra e vegetação da caatinga.
- e) Indicar medidas mitigadoras aos impactos ambientais.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Alcance Social e Contribuição Científica do Estudo

A produção do conhecimento sobre o mundo vincula-se a processos histórico-culturais da formação das sociedades humanas, gerando valores, conceitos, crenças, padrões de conduta – modos de vida.

Os aspectos sociais, planejamento ambiental e a viabilidade econômica devem ser metas prioritárias para a sustentabilidade do projeto Várzeas de Sousa, uma vez que esse empreendimento apresenta grande alcance social às populações residentes, pois contempla a irrigação de lotes para pequenos produtores, com cerca de cinco hectares, e lotes empresariais com áreas variando de 27 a 293 hectares, gerando empregos, conhecimentos e divisas para a Paraíba. Entretanto, estas áreas destinadas à produção de culturas de alto valor comercial, e já com a adoção de considerável nível tecnológico são formadas em sua maioria, por solos do tipo Vertissolos e Neossolos Flúvicos de difícil manejo em suas características físicas e químicas impostas pelo alto teor de argila e grande vulnerabilidade a degradação ambiental.

Razão pela qual, o conhecimento das características sociais, econômicas e ambientais predominantes na área é essencial para a aplicação de práticas agrícolas sustentáveis com reflexos positivos para a fixação dos empreendedores rurais que aí residem, nas suas relações econômicas, sociais e, sobretudo, no aumento da produção de alimentos. Entretanto, esse aumento de produção de alimentos não deve ser focado apenas na busca de lucros incessantes, mas, na certeza de uma exploração agrícola permanente, diversificada, produtiva e com qualidade de vida aos seus participantes. O capital para o desenvolvimento econômico, não se preocupa em pensar para o benefício comum e preservação ambiental e, sim, no que fazer a qualquer custo para produzir e concentrar renda. Esse processo de concentração aplicado na agricultura viabiliza um novo modelo de produção de alimentos que gera a degradação e improdutividade dos solos ao longo do tempo (LEFF, 2001; MORIN, 2002; CARNEIRO, 2006).

Nessa perspectiva, o manejo eficiente e consciência da adoção de práticas ambientais educativas têm se constituído como processo social, que se pauta em organização coletiva do empreendedor, principalmente para os perímetros irrigados, por entender que a forma de

organização dá garantia a produção e fortalece as relações sociais que se manifestam na vivência e vinculam-se aos fundamentos teórico-metodológicos aprendidos. O que se requer, é uma nova abordagem da agricultura e do desenvolvimento agrícola, que se construa sobre aspectos de conservação de recursos da agricultura tradicional local e, ao mesmo tempo, se explorem conhecimento e métodos ecológicos modernos que permitam o desenho e manejo de agroecossistemas sustentáveis (GLIESSMAN, 2005).

O despertar dessa consciência de que a irrigação deve ser feita adequadamente, ainda é pensada de forma incipiente não se verificando como prática usual entre os produtores. Para Genú e Pinto (2002), isso se deve, principalmente, ao despreparo dos produtores rurais, que os leva a utilizarem os recursos do solo e água de forma ineficiente, ora aplicando em excesso, ora submetendo as plantas ao estresse hídrico e ao desgaste e empobrecimento dos solos.

A referida eficiência se dá com o planejamento do uso desses recursos, elevando a rentabilidade das culturas e conservando, ao mesmo tempo, a capacidade produtiva das áreas irrigadas (NASCIMENTO, 2005).

Levando-se em consideração o contexto econômico da agricultura irrigada das Várzeas de Sousa, diversos aspectos positivos podem ser levantados, como a geração de empregos, renda, alimentos e outros elementos-chave de melhoria das condições de vida da população. Por outro lado, aspectos negativos também podem ser verificados, destacando a crescente demanda hídrica da agricultura irrigada. A baixa capacidade de acumulação de água dessa porção semiárida prejudica a utilização desse recurso em seus diversos usos. Como consequência, surge à necessidade de não somente obter lucros, como pôr em uso, manejo e tecnologias eficientes. Tais tecnologias e práticas de manejo devem ser disponibilizadas de imediato para os empreendedores de todos os portes, agricultores ou empresários, e adotadas em conjunto.

São estes os pressupostos essenciais de uma intervenção na sociedade quando se pretende que esta intervenção aponte para um desenvolvimento sustentável, que promova a qualidade de vida de populações que formam parte de um cenário de semiaridez constante e de secas periódicas. Tornando-se evidente a necessidade de concluir, com certa urgência, ações que venham proporcionar medidas de melhoria para esta região, como a que se propõe no presente estudo.

2.2. Concepção Histórica do Projeto

A ideia de levar água do sistema Coremas/Mãe d'água, cuja capacidade de acumulação é de 1.358.000.000 m³ para as Várzeas de Sousa remonta à década de 40, tendo sido previsto nos primeiros estudos desenvolvidos a elevação mecânica (bombeamento) das águas diretamente para o açude São Gonçalo, pois as cotas dos leitos dos rios Piancó e Aguiar, nos boqueirões do Coremas Mãe d'água, são mais baixas do que a cota respectiva no boqueirão do São Gonçalo, que funciona como açude distribuidor. A elevação das águas seria feita através de um sistema tubo-gerador-eletrobomba, sendo a água elevada da cota 207 para a cota 249 e lançada no açude São Gonçalo na cota 235, após percorrer 45 km, dos quais 30 km em canal aberto e o restante em túnel. Porém, só na década de 60 o DNOCS desenvolveu estudos para derivação por gravidade das águas do sistema Coremas/Mãe d'água, visando irrigar 2.963 hectares no vale do Piranhas, nas imediações da cidade de Sousa, tendo projetado para este fim um canal de 30,8 km de extensão, um túnel de 2,8 km e quatro açudes (SILVA FILHO, 1996).

Em meados de 1963, técnicos do *Bureau of Reclamation* apresentaram ao DNOCS e a SUDENE, o Estudo da Bacia do Rio Piranhas por eles elaborado. Tal estudo considerou a transposição das águas do Sistema Coremas/mãe d'água para as várzeas de Sousa inviável sob o ponto de vista econômico, em razão da baixa relação custo/benefício apresentada (0,7). Dessa forma, o estudo sugeriu o aproveitamento destes recursos hídricos para a irrigação das terras do Baixo Açu, no Estado do Rio Grande do Norte, onde existem solos potencialmente irrigáveis. Posteriormente, em tempo, uma comissão de técnicos do DNOCS ao examinar o estudo desenvolvido pela equipe do Bureau, comprovou que a análise econômica efetuada para o empreendimento tomou como base os rendimentos das culturas exploradas no Projeto São Gonçalo, os quais se apresentam relativamente baixos, devido aos problemas de drenagem e inundações enfrentadas no perímetro (GUERRA, 1981; BRASIL, 2011).

Em 1970, a HIDROSERVICE - Engenharia de Projetos Ltda executou para o DNOCS estudos pedológicos nas Várzeas de Sousa, tendo constatado a existência de várias áreas com solos potencialmente aproveitáveis. Com base nestes dados elaborou um estudo de alternativas para derivação das águas dos açudes Coremas/Mãe d'água para as Várzeas de Sousa, que resultou na projeção de um canal com 57 km, que conduziria a água por gravidade até as áreas a serem irrigadas (SUPLAN, 1995).

Nessa época, já se concebia a ideia de um projeto de irrigação (Canal Coremas/São Gonçalo), como parte realmente do projeto original, uma vez que o engenheiro Dr. Estevam

Marinho realizou as duas obras e idealizou um sistema integrado, porém não foi levado a termo, vindo somente, em 1996, despertar interesse nos políticos da região, especialmente, os das áreas beneficiadas como São Gonçalo - Souza-PB (SILVA FILHO, 1996).

O projeto de Irrigação das Várzeas de Souza é uma realidade, de reconhecido potencial socioeconômico e hídrico, viabiliza atividades que beneficiam, tanto produtores que praticam a agricultura familiar, quanto empresários que se destinam à exploração voltada para exportação do agronegócio agrícola. O projeto consta de um Canal adutor que se inicia na Tomada d' água da Barragem Coremas Mãe d'água no Município de Coremas, percorrendo 37 km, e desemboca na barragem de compensação, seguida da barragem de distribuição, para atender à demanda hídrica de todo o empreendimento. O Canal adutor opera com uma vazão transportada de 4.000 litros/segundo.

O sistema de distribuição de água para irrigação do projeto funciona por gravidade desde o reservatório de distribuição até os pontos de tomada d'água na entrada de cada lote. O projeto prevê a irrigação de uma área atual de 4.376 hectares, sendo 178 destinados a pequenos produtores para exploração orgânica de hortaliças, fruticultura (banana, goiaba e manga) e pecuária, e 18 lotes destinados a exploração de porte empresarial. O projeto destinou onze lotes à pesquisa e experimentação através da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária – EMEPA-PB e da Escola Agrotécnica Federal de Sousa. Existem, ainda, 1 lote administrado pelo INCRA e destinados ao assentamento de 141 famílias (SEDAP, 2007).

2.3. Ambiência, Interdisciplinaridade do Projeto Várzeas de Sousa

Estudos científicos atuais indicam que os ecossistemas continuam sofrendo o impacto de padrões insustentáveis de produção e de urbanização. A base de recursos naturais continua sujeita às pressões antrópicas crescentes. Além disso, durante a última década, muitos países aumentaram sua vulnerabilidade a uma série mais intensa e frequente de fenômenos que tornam mais frágeis os sistemas ecológicos e sociais, provocando insegurança ambiental, econômica e social, minando a sustentabilidade e gerando incertezas em relação ao futuro (JACOBI, 2007).

A interdisciplinaridade é entendida como uma busca de novos conhecimentos que as disciplinas individuais por si mesmas não estavam em condições de proporcionar; é também um conceito polissêmico, que geralmente costuma ser entendido como uma proposta epistemológica que tende a superar a excessiva especialização disciplinar surgida da racionalidade científica moderna (GONZÁLEZ-GAUDIANO, 2005). Assim, a

interdisciplinaridade aplicada aos diversos segmentos do projeto Várzeas de Sousa propicia condições para entender e trabalhar as relações sociais, econômicas, agrícolas, hídricas e ambientais numa visão holística e sustentável, como enfatiza o informe da Conferência Intergovernamental de Educação Ambiental realizada em Tbilisi-Geórgia, em 1977, que postula:

A educação ambiental não é uma matéria suplementar que se soma aos programas existentes, exige a interdisciplinaridade, quer dizer uma cooperação entre as disciplinas tradicionais, indispensável para poder se perceber a complexidade dos problemas do meio ambiente e formular uma solução (GONZÁLEZ-GAUDIANO, 2005, p. 123).

Sua ênfase no âmbito do projeto se deve à constatação de que os problemas que afetam e mantêm a vida no planeta terra são de natureza global e que suas causas não podem restringir-se apenas aos fatores estritamente ambientais, revelando dimensões políticas, econômicas, institucionais, sociais e culturais.

Uma exploração agrícola sustentável é permeada de obstáculos, na medida em que existe uma restrita consciência na sociedade a respeito das implicações do modelo de desenvolvimento em curso. As causas básicas que provocam atividades ecologicamente predatórias podem ser atribuídas às instituições sociais, aos sistemas de informação e comunicação e aos valores adotados pela sociedade de forma isolada. Isso implica, principalmente, a necessidade de estimular uma participação mais ativa da sociedade no debate dos seus destinos, como uma forma de estabelecer um conjunto socialmente identificado de problemas, objetivos e soluções (GUIMARÃES, 2001; JACOBI, 2007). Num contexto marcado pela degradação permanente do meio ambiente e do seu ecossistema, a problemática deverá envolver um conjunto de atores do universo educativo em todos os níveis, potencializando o engajamento das diversas áreas de conhecimento, seja a capacitação de profissionais, técnicos, empreendedores ou da comunidade local numa perspectiva interdisciplinar.

Logo, há necessidade da internalização da questão ambiental, para que esta estimule a reflexão em torno da diversidade e das relações indivíduos-natureza, dos riscos ambientais globais e locais e das relações ambiente-desenvolvimento.

2.4. Atributos do Solo como Indicadores de Qualidades dos Vertissolos em Diferentes Sistemas de Manejo

No Brasil, de maneira geral, as áreas de vegetação natural vêm sendo substituídas por diferentes sistemas de uso, tais como: culturas agrícolas, pastagens e reflorestamentos, como se pode constatar com a implantação do Projeto Várzeas de Sousa na Paraíba. Essa mudança na utilização do solo ocasiona um desequilíbrio no ecossistema, uma vez que a técnica de manejo empregada influencia os processos físicos, químicos e biológicos do mesmo, modificando suas características e, muitas vezes, propiciando a degradação inviabilizando sua utilização ou aproveitamento agrícola, principalmente, para a classe dos solos Vertissolos, o qual apresenta difícil manejo (SEMARH/EMEP, 1998; GOMES et al., 2006).

Os Vertissolos compreendem solos constituídos por material mineral apresentando pequena variação textural ao longo do perfil, nunca suficiente para caracterizar um horizonte B textural. Apresentam pronunciadas mudanças de volume com o aumento do teor de umidade do solo, fendas profundas na época seca, e evidências de movimentação de massa do solo, sob a forma de superfície de fricção (*slickensides*). Podem apresentar microrelevo tipo gilgai e estrutura do tipo cuneiforme que são inclinadas e formam ângulo com a horizontal. Estas características resultam da grande movimentação de massa do solo que se contrai e fendilha quando seco e se expande quando úmido, tornando-se muito plástico e muito pegajoso devido a presença de argilas expansíveis ou mistura destas com outros tipos de argilas minerais.

São desenvolvidos normalmente em ambientes de bacias sedimentares ou a partir de sedimentos com predomínio de materiais de textura fina e com altos teores de cálcio e magnésio, ou ainda diretamente de rochas básicas ricas em Ca^{++} e Mg^{++} (EMBRAPA, 2006). Na composição mineralógica verificam-se, de modo geral, boas reservas de material primário de fácil intemperismo, feldspatos anfibólitos e biotitas. (BRASIL 1981).

A consistência desses solos é influenciada pela atividade da argila que é sempre alta. Essa atividade é resultado das interações dos agentes intempéricos que proporcionam formação das argilas montmorilomita de alta superfície específica e, por conseguinte alta retenção de cátions.

As cores escuras são conferidas pela formação de um ambiente de redução, predominantemente de ferro. No entanto, essas cores não são apenas devido a ambientes redutivos, mas também ao material de origem.

Estes solos distribuem-se em grandes áreas de encostas, cujo relevo varia de suave ondulado a forte ondulado, sendo mais frequente o suave ondulado. Porém, são encontrados também em áreas planas de várzeas ou de terços inferiores junto às várzeas, áreas estas sujeitas às inundações periódicas, tornando solos mal drenados assumindo características gleizadas. São encontrados em diversos tipos de clima, dos mais úmidos (com estação seca definida) aos mais secos, tendo grande expressão na região semiárida do nordeste brasileiro (EMBRAPA, 2006). Essa adversidade climática constitui limitação para o seu uso, pois quando secos, apresentam-se muito duros e quando molhados apresentam-se muito pegajosos.

O acelerado processo de degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente, nos países tropicais em desenvolvimento, despertou nas últimas décadas a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola. Desde então, vários conceitos de qualidade do solo foram propostos o melhor deles, porém, define a qualidade do solo como sendo a sua capacidade de manter a produtividade biológica e a qualidade ambiental, dessa forma, a avaliação da qualidade do solo vem merecendo destacada atenção, e a quantificação de alterações nas suas características, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, tem sido amplamente utilizada para monitorar a produção sustentável dos solos (NEVES et al., 2007; TRANNIN et al., 2007).

Nesse propósito, Bruggen e Semenov (2000); Sposito e Zabel (2003) se reportam ao conceito de qualidade de solo como o entendimento atual que compreende o equilíbrio entre os condicionantes geológicos, hidrológicos, químicos, físicos e biológicos do solo. Esse termo, muitas vezes é utilizado como sinônimo de saúde do solo referindo-se à capacidade do solo sustentar a produtividade biológica dentro das fronteiras do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde de plantas e animais e do próprio ser humano. Assim, desde as primeiras discussões a respeito da qualidade do solo várias linhas de atuação têm sido propostas. Entre elas, destacam-se aquelas que consideram a necessidade de um conjunto numeroso de características químicas, físicas e biológicas para a obtenção de um índice de qualidade do solo (LARSON; PIERCE, 1991).

O emprego de sistemas de cultivo e práticas de manejo do solo como o monocultivo, aração e gradagem, aplicações de agrotóxicos, adubos e corretivos, entre outras, podem desequilibrar a microbiota, reduzindo a diversidade dos microrganismos e a ciclagem de nutrientes, podendo resultar em degradação do solo e menor produtividade das culturas (JORDAN et al., 2004; DÍAZ-RAVIÑA et al., 2005). As diferentes culturas agrícolas, em razão de apresentarem características distintas como ciclo de vida, ambiente de rizosfera, produção e deposição de material vegetal sobre e dentro do solo, e exigências específicas de

preparo do solo, adubação, irrigação e podas promovem influências e alterações distintas sobre a biomassa microbiana do solo e sua atividade (JOHNSON et al., 2003; MATSUOKA et al., 2003).

Estudos realizados por Cardoso et al. (2009), sobre as características biológicas como indicadores da qualidade do solo em pastagens indicam que o uso intensivo do solo reduz os teores de carbono orgânico total e carbono microbiano, e três anos sem pastejo são insuficientes para a melhoria dessas características.

Ainda Cardoso et al. (2002) relatam que os Vertissolos apresentam baixo potencial para aproveitamento agrícola sendo suas principais limitações decorrentes de suas características físicas. O período de preparo do solo para o plantio, considerando as condições ideais de umidade para a realização desta atividade, é muito reduzido, em virtude da rápida passagem do estado úmido para encharcado. Também, não é raro, deparar com situações em que a camada superficial encontra-se com umidade adequada para seu preparo, enquanto camadas inferiores ainda estão muito úmidas, aumentando a possibilidade de desenvolvimento de compactação do solo.

Os frequentes encharcamentos e excessivo escoamento superficial nos períodos de concentração de chuvas intensas, decorrentes de baixa permeabilidade destes solos, também constituem limitações consideráveis, bem como a elevada pegajosidade, quando molhado, e a extrema dureza, quando seco, demandam esforço de tração muito grande, limitando a utilização extensiva desses solos. A infiltração de água é geralmente melhor nos solos com estrutura superficial granular, que pode ser mantida e mesmo melhorada através da rotação de culturas, emprego de resíduos de colheitas e de plantas de cobertura para formação de palhada (OLIVEIRA et al., 1992). Portanto, por suas características físicas e químicas para o eficiente manejo dos Vertissolos, práticas culturais devem ser adotadas no sentido de se evitar a formação de camada superficial compactada (encrostamento), conforme sugerem SPERA et al. (1993).

Para tanto, a sustentabilidade econômica e social dos pequenos produtores deve mostrar um indicador que estabeleça no mínimo quatro critérios, independente do método utilizado para avaliá-la, são eles: manutenção da capacidade reprodutiva do agroecossistema, conservação dos recursos naturais e da biodiversidade, fortalecimento da organização social e, como consequência, diminuição da pobreza; fortalecimento das comunidades locais, preservando suas tradições, seu conhecimento e garantindo sua participação no processo de desenvolvimento (ABRAMOVAY, 2000; BENATTI, 2005; MACHADO, 2009).

Neste sentido, o amplo conhecimento dos indicadores físicos, químicos e biológicos dos solos, tais como: textura, estrutura, profundidade efetiva, capacidade de troca de cátions, saturação de bases, teor de matéria orgânica, pH e outros fatores ecológicos, como temperatura, umidade, pluviosidade, luminosidade, topografia, cobertura vegetal, aliado aos fatores ecológicos locais constituem a base para o posicionamento das terras nas diferentes classes de aptidão agrícola, e darão subsídios para indicação de um manejo sustentável (RAMALHO FILHO et al., 1978). Assim, a possibilidade de melhoramento ou remoção de limitações do solo com relação às condições naturais é também levada em conta no conceito de classe de aptidão, em função dos níveis de manejo considerados.

O amplo conhecimento das características do solo e sua utilização de forma racional são etapas importantes no sistema produtivo, todavia, não garantem o sucesso da agricultura familiar. Nos sistemas de agricultura familiar é importante além do conhecimento dessas características, a adoção de um sistema de manejo e planejamento da produção (PAULUS et al., 2001).

É importante salientar que o maior uso destes solos até hoje, foi para o cultivo de pastagens. Entretanto, seja qual for a utilização agrícola esses atributos exercem grande importância no manejo e preservação do solo, assim Netto et al. (2009), observaram diferenças na qualidade do solo conforme o manejo imposto em cada área, até mesmo para pastagens. O uso impróprio, principalmente, com a presença de muitos animais em pastejo, resultou na maior redução de qualidade nos solos com braquiárias. Contudo, os tratamentos culturais realizados na pastagem mais antiga, com andropogon, promoveram melhorias no solo. E, notadamente, na área mais nova, a significativa contribuição da matéria orgânica do sistema silvipastoril, aliada a não utilização pelos animais, proporcionou melhor estrutura do solo.

Santana (2005) comenta sobre a crescente preocupação com a qualidade do ambiente, e vem salientando o anseio por sistemas de cultivo que possam difundir conceitos que visem o desenvolvimento, buscando atender as necessidades atuais e futuras. A qualidade do solo nos sistemas agrícolas concorre com a sustentabilidade, dessa forma, é de suma importância conhecer, quantificar e saber manejar os seus atributos.

2.5 Atributos Físicos, Químicos e Biológicos do Solo

Os solos, quando submetidos a determinados sistemas de cultivo, tendem a um novo estado de equilíbrio, refletido em diferentes manifestações de seus atributos, os quais podem

ser desfavoráveis à conservação da sua capacidade produtiva. Os efeitos diferenciados sobre os atributos do solo, devido ao tipo de preparo, característico de cada sistema de cultivo, são dependentes da intensidade de revolvimento, do trânsito de máquinas, do tipo de equipamento utilizado, do manejo dos resíduos vegetais e das condições de umidade do solo no momento do preparo.

Carvalho et al. (2004) citado por Suzuki et al. (2006) afirmam que os atributos físicos estão relacionados ao arranjo das partículas e do espaço poroso do solo, incluindo densidade, porosidade, estabilidade de agregados, textura, encrostamento superficial, compactação, condutividade hidráulica e capacidade de armazenagem de água disponível, os quais refletem limitações ao crescimento radicular, à emergência das plântulas, à infiltração e ou movimento da água no interior do perfil do solo, bem como sua disponibilidade às plantas.

Embora a densidade do solo seja a medida quantitativa mais direta no diagnóstico da compactação, a granulometria do solo exerce forte influência sobre esse atributo, limitando, a escolha de um valor absoluto que possa ser utilizado como referência para solos de diferentes classes texturais (CAMARGO e ALLEONI, 2006; REICHERT et al., 2009).

Os efeitos da compactação do solo sobre o desenvolvimento vegetal são bastantes significativos; no entanto, este fator é pouco observado e considerado pelos agricultores. O principal problema da compactação do solo é que nem sempre é possível se reverter ao estado inicial de exploração (RESENDE, 2009; PEDROTTI e MELLO JR., 2009).

Estudos desenvolvidos por Bergamin et al. (2010) mostraram que o aumento da compactação em um Latossolo Vermelho Distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho, foram afetadas pelo tráfego de trator a partir de duas passadas (220 kPa), o que promoveu aumento da densidade do solo e redução da macroporosidade e porosidade total; a partir de quatro passadas (440 kPa), promoveu aumento da resistência do solo à penetração de maneira efetiva, até 0,10 m de profundidade. A compactação adicional influencia negativamente o sistema radicular do milho, sendo a macroporosidade o indicador de qualidade do solo mais bem relacionado com o comprimento e a superfície radicular.

Em solos de várzea, o efeito da compactação é muito mais perceptível e limitante para o crescimento radicular de culturas de sequeiro. Estes solos apresentam tipicamente valores de porosidade de aeração que naturalmente limitam o adequado crescimento radicular, (BAMBERG et al., 2009).

Para Sales et al. (2010), o uso agrícola do solo promove alterações em todos os seus atributos sendo a macroporosidade do solo o mais sensível às intervenções decorrentes do manejo.

Estudos que relatam alterações significativas nos atributos físicos do solo em virtude do seu não revolvimento, tráfego contínuo de máquinas pesadas e equipamentos agrícolas em solo com umidade elevada são frequentes (STRECK et al., 2004; BEUTLER et al., 2007; FREDDI et al., 2007; COLLARES et al., 2008). Nessas condições, a compactação tem sido indicada como a principal causa da degradação física dos solos pela redução de seu espaço poroso. Em consequência há alteração estrutural do solo devido à reorganização das partículas e de seus agregados, o que aumenta a densidade e resistência do solo à penetração e reduz a macroporosidade inibindo assim, o crescimento e o desenvolvimento radicular das plantas. Essa resposta das plantas é mais facilmente observada quando ocorre precipitação pluvial irregular no período de cultivo (RAPER, 2005; COLLARES et al., 2006).

Para os Vertissolos, as condições manifestadas, notadamente as físicas, se mostram desfavoráveis ao desenvolvimento de culturas de sequeiro. Estes solos apresentam baixa porosidade total, com predomínio de microporos, camadas compactadas próximas à superfície, baixa estabilidade de agregados e tendência à formação de encrostamento superficial. Estas características fazem com que estes solos sejam mal drenados e apresentem baixa velocidade de infiltração. Em decorrência pode-se afirmar que eles não manifestam qualidade adequada para o cultivo de espécies de sequeiro. Todavia, o uso de um conjunto de práticas de manejo mais apropriado tem melhorado a qualidade destes solos (qualidade dinâmica), que associado a genótipos com alto potencial genético, viabilizará tecnicamente o cultivo nesses solos (GOMES et al., 2006; VERNETTI JÚNIOR et al., 2009).

O pH, salinidade, capacidade de troca de cátions, capacidade de suprimento de nutrientes às plantas, necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas são considerados como indicadores ou atributos químicos. Segundo Pedrotti et al. (2005), as condições químicas do solo afetam as relações solo-planta, a qualidade da água, o poder tampão, a disponibilidade de nutrientes e de água para as plantas e outros organismos, mobilidade de contaminantes e algumas condições físicas, como a tendência de formação de crostas superficiais.

A avaliação de todas essas características se constitui em indicativos essenciais para o seu manejo e sustentabilidade. Segundo pesquisas desenvolvidas por Chaves et al. (1998), sobre as características físicas e químicas dos Vertissolos nas Várzeas de Sousa, a degradação de solos já se faz presente pelo acúmulo de sais com níveis de salinidade ($CEes > 4 \text{ dS m}^{-1}$) e sodicidade ($PST > 15 \%$) em aproximadamente 19 e 52%, respectivamente, em Vertissolos e Neossolos Flúvicos Eutróficos, evidenciando que a prática da agricultura irrigada em regiões semiáridas é uma atividade de risco potencial para a qualidade do solo.

Essas condições naturais desfavoráveis são agravadas por desagregação e desestruturação do solo, compactação subsuperficial e encrostamento superficial. Problemas dessa natureza têm sido intensificados por atividades de preparo do solo e tráfego de máquinas agrícolas, frequentemente executadas com o solo fora da faixa de consistência friável (PEDROTTI et al., 2005). Ressalta-se, também, que a utilização de sistemas de cultivo com alto revolvimento em solos de várzea, ao longo do tempo, provoca danos à qualidade física do solo, como é o caso do plantio convencional (KUKAL e AGGARWAL, 2003; ANDERS et al., 2005).

Outro fator importante que deve ser levado em consideração é a presença de organismos no solo e o desenvolvimento da planta, sendo mencionados por diversos agricultores como indicadores biológicos da qualidade do solo. Onde o desenvolvimento está condicionado a uma avaliação visual da planta em termos de altura, de coloração, de viço, de número de ramos, de floração e frutificação. Este indicador reflete, portanto, o efeito das características físicas, químicas e biológicas do solo. Barrios e Trejo (2003) mencionam que a vegetação espontânea também se enquadra nesta perspectiva, sendo considerada aquela vegetação que nasce naturalmente, estando sua presença relacionada às condições com que o solo se apresenta.

Entre os indicadores da qualidade do solo, já mencionados Audeh et al. (2010), estudando a transição do cultivo convencional de fumo para o cultivo orgânico, destacam-se como mais sensíveis a percepção dos agricultores, em ordem de importância, os relacionados às características morfológicas e físicas, seguidos das químicas e biológicas do solo. Entre estas características as mais mencionadas por eles são: erosão (100%), densidade (93%), matéria orgânica (87%) e as plantas espontâneas (87%), respectivamente. Os indicadores da qualidade do solo, mais facilmente percebidos pelos agricultores foram àqueles relacionados com as características físicas do solo, já que estão diretamente ligados às atividades de preparo do solo. Os morfológicos são facilmente identificados a campo e, segundo os agricultores, também são influenciados pelo manejo. Já os indicadores químicos são percebidos quando influenciam o desenvolvimento das plantas, enquanto os biológicos são pouco lembrados pelos agricultores, mas não menos importantes para a manutenção da qualidade dos solos e conseqüentemente para a produção agrícola.

2.6. Espaço Temporal e Vulnerabilidades Agrossocioeconômicas

Nos últimos anos o uso desordenado do solo vem causando mudanças ambientais em dimensões cada vez maiores, com grandes impactos sobre a biosfera. Entre estas ações, as mudanças no uso e cobertura da terra podem ser citadas como as mais significativas. A implantação de projetos hidroagrícolas sem o manejo e monitoramento das características do solo e preservação das áreas de reserva legal tem sido um dos grandes responsáveis pelas maiores alterações na vegetação da caatinga, degradação e salinização dos solos no Nordeste. A tão desejada expansão das “fronteiras agrícolas” está entre estas mudanças, e se apresenta como vetor que impulsiona a devastação da caatinga com o desaparecimento de espécies desse bioma, e assim, paulatinamente as áreas são transformadas em espaço de cultivo agrícola e pecuário. Costa et al. (2009) constataram que a pressão antrópica, pretérita e atual, mostra-se como causa potencial do processo de degradação do bioma caatinga na região semiárida a exemplo do Seridó.

Nesse contexto, tem-se que admitir que, a expansão das “fronteiras agrícolas” é um processo marcante, que se reflete na conversão de florestas em cultivos e pastagens, porém as políticas públicas e programas destinados à região são, ainda, insuficientes e muitas vezes inconsistentes, diante da complexidade da relação pessoas/ambiente. Por outro lado, estas mudanças são necessárias para o desenvolvimento da sociedade, embora a elas, estejam vinculadas consequências tanto negativas quanto positivas. Nestas relações de causa e feito, surge o interesse pelo seu estudo e a busca por informações cartográficas confiáveis, visando a subsidiar a implantação de políticas socioambientais eficientes, no que concerne a minimizar os impactos causados pelo desenvolvimento econômico e social. O monitoramento do uso do solo, de fragmentos de caatinga ainda existentes e da reserva legal é uma tarefa essencial para o conhecimento da realidade ambiental e sustentabilidade do projeto contribuindo na busca de soluções de problemas que possam apresentar-se num futuro próximo. Para tanto, deve-se entender que estas análises precisam considerar uma postura científica multidisciplinar, que permita integrar processos físicos, naturais e sociais.

Esse conhecimento viabiliza compreender os padrões de organização espacial, com os quais se podem diagnosticar e, até mesmo, prognosticar as mudanças da paisagem e mostrar a distribuição espacial real das diferentes formas de uso dos recursos naturais cada vez mais alterados pelas ações do homem. As geotecnologias, representadas em especial pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento Remoto e Sistema de Posicionamento Global (GPS), apresentam uma série de facilidades na geração e produção de dados e informações

para o estudo de fenômenos geográficos, como os desastres naturais. Utilizando estas ferramentas podem-se produzir informações em pouco tempo e com baixo custo, combinando informações de dados espaciais multifontes a fim de analisar as interações existentes entre as variáveis, elaborar modelos preventivos e dar suporte as tomadas de decisões (SAUSEN et al., 2007; MARCELINO, 2008). O conhecimento dos padrões de uso e cobertura da terra auxilia no planejamento das regiões, tendo em vista que, através da identificação de diferentes paisagens e características e uso do solo é possível prognosticar o incremento de áreas agrícolas, bem como os seus problemas e as soluções, determinando as prioridades para o uso e manejo agropecuário.

Quando não se priorizam as medidas preventivas, há um aumento significativo de gastos destinados à resposta aos desastres. O grande volume de recursos consumido ao atendimento da população atingida é muitas vezes superior ao que seria necessário para a prevenção. Além disso, esses recursos poderiam ser destinados à implementação de projetos de grande impacto social, como geração de emprego e renda. Assim, o uso do geoprocessamento nos estudos da degradação ambiental e dos riscos a desastre resultante da interação ambiente entre semiárido e sociedade permite uma maior dinâmica do processo de geração de informações em tempo quase real, e identificação de áreas onde devam ser priorizadas as estratégias de mitigação ou que áreas devam ser estudadas em detalhe, conforme relatado por BARBOSA et al. (1999), CUTTER (2003), BRECHT (2008) e LACRUZ et al. (2009).

As condições de vida da população, muitas vezes são agravadas pelos desastres que contribuem para aumentar a dívida social e intensificar as desigualdades inter e intrarregionais, afetando o desenvolvimento sustentável do País. Grande número de desastres é agravado pelas migrações internas, que levam à formação de bolsões e cinturões de extrema pobreza nos centros urbanos provenientes do êxodo rural resultantes das vulnerabilidades ambientais peculiares a região semiárida como secas prolongadas, degradação dos solos decorrentes de projetos de irrigação mal conduzidos, inundações, deslizamentos de encostas, incêndios, dentre outros. A falta de planejamento da ocupação e/ou utilização do espaço geográfico, desconsiderando os riscos, somada à deficiência da fiscalização local e orientações técnicas, tem contribuído para aumentar a vulnerabilidade das comunidades urbanas e rurais, com um número crescente de áreas degradadas, pobreza, exclusão social e até de perdas de vidas humanas com vultosos prejuízos econômicos e sociais (MOREIRA, 2001).

O Município de Sousa possui uma população de 65.807 habitantes, dos quais apenas 21% residem na zona rural, possui um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,658, considerado como médio pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, seu produto interno bruto - PIB está na faixa de R\$ 531.249,00 mil com uma renda *per capita* de R\$ 8.057,00, o que assinala uma razoável atividade econômica no município (IBGE, 2010). Entretanto, as condições climáticas adversas na região, restringem as condições de vida das populações rurais, sendo necessária a aplicação de políticas públicas que diminuam as vulnerabilidades aos riscos permanentes e promovam nichos de explorações agrícolas para a fixação do homem ao campo, melhoria da qualidade de vida, garantias na redução da pobreza e da fome, universalização do acesso à educação primária e promoção da sustentabilidade ambiental.

Nas condições de semiáridéz a produção agrícola é de alto risco e baixo rendimento sem a irrigação. Assim, sem a utilização da água como insumo agrícola, só é possível a obtenção de uma safra por ano, significando uma substancial subutilização de investimentos realizados em infraestrutura física e de apoio à produção, assim como em maquinaria agrícola, expondo os agricultores à vulnerabilidade de uma série de riscos como perda de emprego, marginalização social, recessão econômica, subnutrição e doenças. As incertezas quanto ao início e término da seca, bem como a sua severidade associados baixa capacidade de infiltração dos solos e rios assoreados são outros fatores que dificultam as explorações agrícolas aumentando a probabilidade da área aos riscos. O crescimento da agroindústria é igualmente reprimido, haja vista a disponibilidade, apenas sazonal, de matéria-prima (KHAN et al., 2001).

Parte expressiva da população não consegue ter diariamente, acesso a uma alimentação digna, razão pela qual a implantação de projetos hidroagrícolas apresenta-se como importante estratégia para região contribuindo para a redução dos riscos e das vulnerabilidades socioeconômica, tecnológica e ambiental a que as populações do semiárido nordestino estão expostas.

Do exposto, diante as dificuldades de manejo o objetivo do estudo é identificar os indicadores físicos, químicos e biológicos dos Vertissolos existentes no Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa, assim como as suas implicações econômicas, sociais e ambientais na região.

CAPITULO 3

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Delimitação da Pesquisa

Nessa pesquisa são explorados dois domínios do conhecimento para delimitar a questão-chave:

1. Os indicadores de sustentabilidade físicos, químicos e biológicos que permitiram propor um modelo de manejo para os Vertissolos;
2. A gestão dos riscos e estudo das vulnerabilidades econômica, social, tecnológica e ambiental para conhecimento do sistema agrícola.

A síntese de delimitação da pesquisa ressaltando os pontos de interesse está apresentada na Figura 3.1.

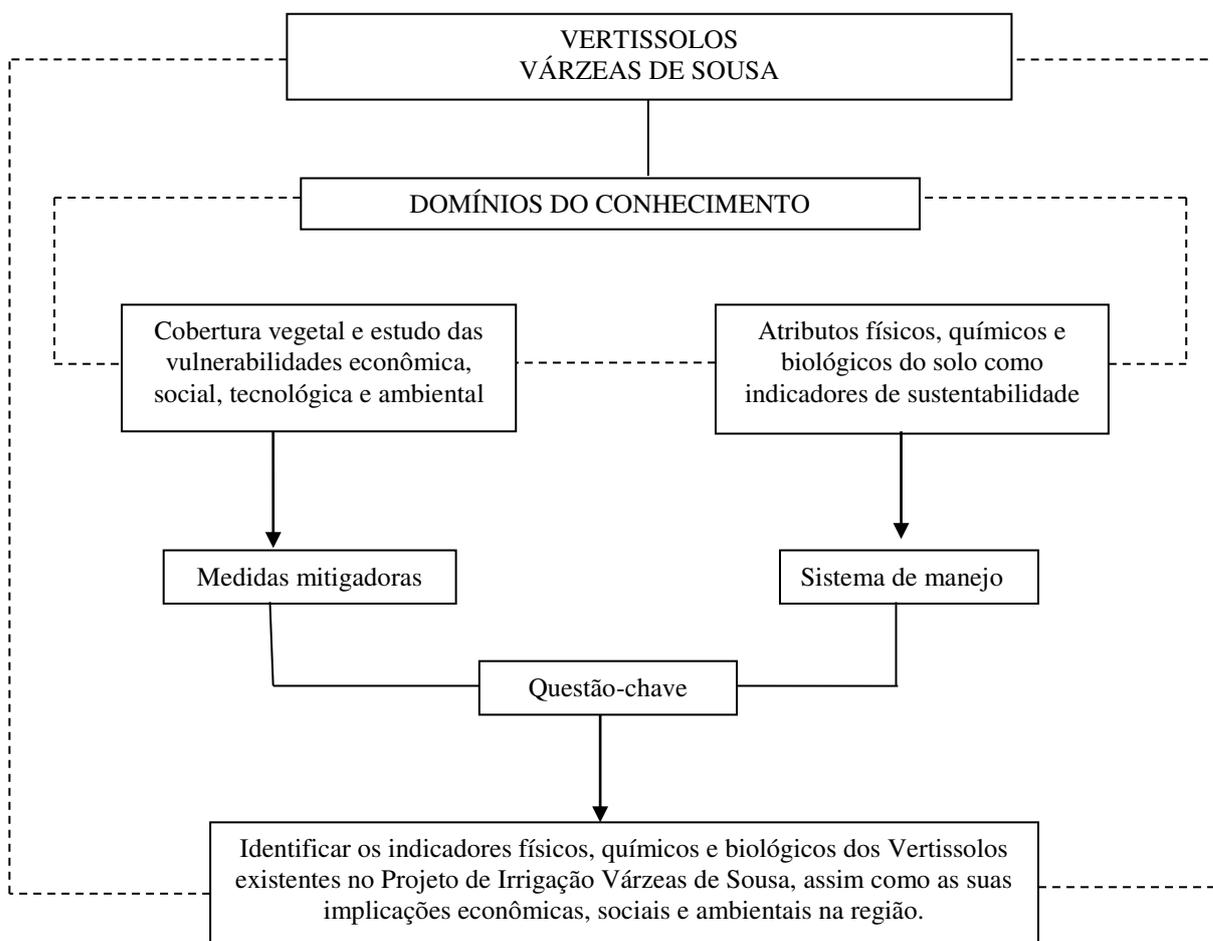


Figura 3.1. Delimitação da pesquisa ressaltando os pontos de interesse.

3.2. Localização Geográfica e Caracterização da Área

O trabalho foi conduzido na área de amplitude do Perímetro Irrigado das Várzeas de Sousa - PIVAS, Município de Sousa-PB, entre as coordenadas geográficas 6° 19' e 7° 24' S e 37° 55' e 38° 46' oeste de Greenwich. De acordo com a organização político-territorial do Estado da Paraíba a área faz parte da mesorregião do sertão e microrregião de Sousa. Hidrologicamente limita-se ao norte pelo Rio do Peixe, ao sul pelo Rio Piranhas, a leste com os Municípios de aparecida e São Domingos, e a oeste com a cidade de Sousa e o Perímetro Irrigado de São Gonçalo. Dista 440 km da capital do Estado – João Pessoa, e está ligada aos principais centros populacionais e portos da Região Nordeste do país por estradas pavimentadas. Dispõe, também, de ferrovias que dão acesso às cidades de Fortaleza, Campina Grande e ao Porto de Cabedelo (Figura 3.2).

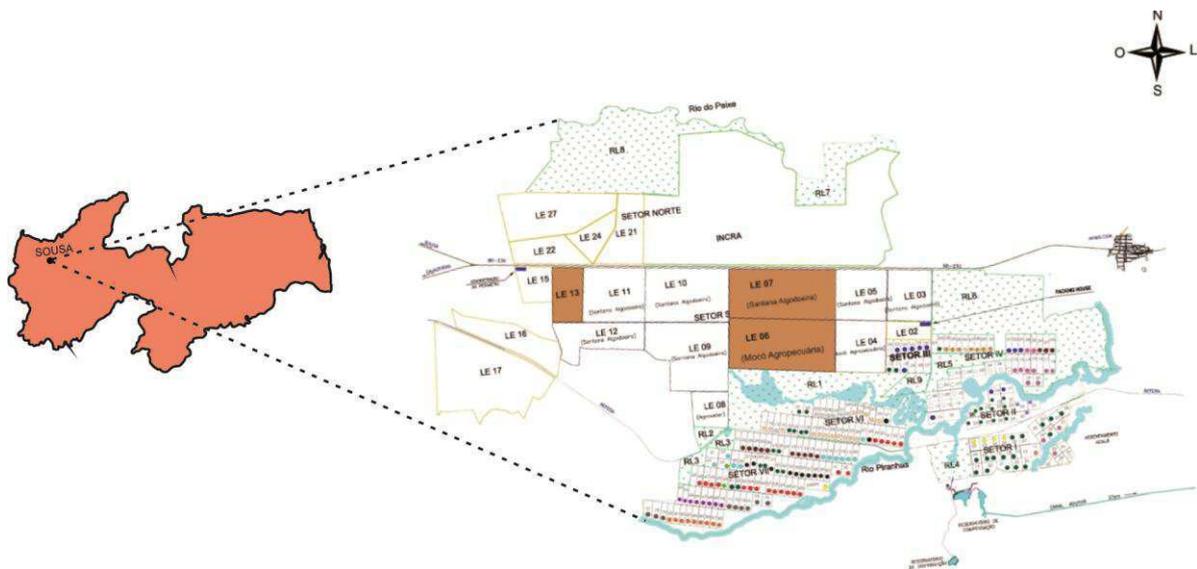


Figura 3.2. Localização geográfica da área de estudo, Projeto Várzeas de Sousa-PB.

Ressalta-se que a área de atuação da pesquisa compreende um público bastante diversificado como agricultores familiares, empresários, instituições de pesquisa e assentados conforme detalhamento no Quadro 3.1.

Quadro 3.1. Detalhamento da ocupação atual da área projeto.

Tipo de ocupação	Nº de lotes	Área (ha)
1. Lotes pequeno produtor	(179)	(2.065,39)
Pequenos produtores selecionados (178)	178	992,53
Assentamento INCRA (141 famílias)	01	1.007,30
Área de baixa aptidão para irrigação	-	65,56
2. Lotes empresariais	(18)	(2.309,16)
Empresa Santana Algodoeira Ltda	07	1.025,51
Empresa Mocó Agropecuária Ltda	02	324,17
Empresa Agroveter	01	49,37
Área disponível para licitação	08	910,11
3. Lotes destinados a pesquisa/ experimentação/extensão	(11)	(81,80)
EMEPA/PB	05	30,00
Instituto federal da Paraíba - SOUSA-PB	02	10,00
EMPASA/PB	03	14,64
EMBRAPA (proposta a concretizar)	01	27,16
4. Áreas ambientais	-	(1.473,55)
Reserva Legal	-	1.267,18
Preservação Permanente	-	206,37
5. Área de infraestrutura/corredores da fauna	-	(405,84)
Área total do perímetro	208	6.335,74

Fonte: SEDAP (2007).

3.3. Aspectos do Clima

A área de influência direta do projeto é caracterizada pelo clima do tipo Aw⁷ - quente semiúmido, segundo a classificação de Köppen (1928), com temperatura média anual de 27 °C, índice pluviométrico médio de 967,23 mm anuais para o período de 1998 a 2011 (AESAs, 2012). Mesmo com esse alto índice pluviométrico apresentado para o período, o regime de chuvas mostra-se irregular, observando-se que no ano de 1998 a precipitação acumulada foi de 456,9 mm enquanto em 2011 foi de 1.346 mm (Tabela 3.1). Vale salientar que a heterogeneidade de repartição temporal se constitui numa característica básica do regime pluviométrico da região, bem como, de todo o sertão nordestino, podendo ocorrer alguns anos com uma pluviosidade excessiva, enquanto em outros anos ocorrem de forma escassa com situações de estiagem extremamente prolongada.

Tabela 3.1. Distribuição da precipitação pluviométrica de Sousa-PB, no período de 1998 a 2011.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2011	341,6	404,2	125,6	168,2	73,3	51,1	23,1	3,7	0,0	124,4	15,1	15,7	1346,0
2010	114,7	77,7	48,9	286,9	0,0	39,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	570,7
2009	77,0	121,6	121,2	417,0	195,4	58,0	49,3	46,4	0,0	0,0	0,0	82,3	1168,2
2008	132,2	162,7	516,6	229,2	282,6	28,2	37,5	3,0	0,0	0,0	0,0	7,0	1399,0
2007	59,9	253,6	130,1	175,2	83,7	66,2	8,5	0,0	0,0	0,0	1,1	25,5	803,8
2006	65,7	171,8	295,3	311,6	164,5	17,4	17,0	17,1	0,0	1,0	1,7	41,6	1104,7
2005	42,8	17,6	561,5	112,7	103,8	24,9	0,6	7,2	0,0	0,0	0,0	59,5	930,6
2004	309,7	227,9	192,3	97,1	32,6	120,5	27,9	2,4	0,0	0,0	0,0	34,8	1045,2
2003	101,2	226,1	210,9	234,7	10,9	10,7	27,6	7,3	0,9	0,0	5,2	0,0	835,5
2002	351,5	114,5	218,6	151,3	196,6	36,2	11,2	0,1	0,6	2,2	1,0	7,4	1091,2
2001	14,6	118,2	358,7	63,3	4,2	29,9	5,7	0,6	0,0	17,1	0,6	116,5	729,4
2000	195,6	322,2	206,7	157,0	59,8	35,4	63,0	29,9	22,8	0,0	0,0	72,3	1164,7
1999	129,8	46,1	267,7	31,1	219,2	5,6	2,2	0,0	0,7	34,8	59,9	98,2	895,3
1998	138,9	52,7	82,2	104,9	17,9	8,3	1,3	18,1	0,0	3,8	0,0	28,8	456,9
Média	148,2	165,5	238,3	181,4	103,2	38,0	19,9	9,7	1,8	13,1	6,0	42,1	967,2

FONTE: Posto Pluviométrico Sousa/São Gonçalo (AESA, 2012).

A insolação média anual apresenta-se bastante elevada com 257 horas, sendo distribuída em mais de 3.083 horas anuais, com máximos em agosto conforme (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Dados climatológicos médios da estação convencional de São Gonçalo-PB, no período de 1998 a 2005.

Meses	Insolação (h)	Nebulosidade (0 - 10)	UR (%)	Evaporação (mm)	Temperatura (°C)
Janeiro	262,7	6,0	58	187,7	27,7
Fevereiro	228,2	6,0	69	130,9	26,8
Março	223,7	6,0	71	119,8	26,4
Abril	216,1	6,0	74	113,2	25,9
Maio	253,9	5,0	67	142,6	23,4
Junho	255,8	4,0	63	155,8	25,9
Julho	269,4	4,0	57	191,6	26,2
Agosto	299,8	3,0	53	229,3	26,8
Setembro	264,5	3,0	52	238,0	28,6
Outubro	243,3	3,0	50	245,4	28,8
Novembro	287,6	4,0	50	243,3	28,8
Dezembro	278,4	5,0	51	214,1	27,8
MÉDIA	256,95	4,6	59,6	184,3	26,9

FONTE: <http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/dspDadosCodigo.php?ODI2ODk>

3.4. Aspectos Geológicos e Geomorfológicos

Encontra-se inserida na bacia sedimentar Cretácea entre a sub-bacia do Rio do Peixe e a Bacia do Rio Piranhas com relevo plano a suavemente ondulado a uma altitude média de 225 m, tendo sido originada por reativação do tectonismo ocorrido no cretáceo inferior. A bacia é constituída por camadas alternadas de arenito e folhelhos, com presença de processos pedogenéticos ativos, subdividida pelas formações geológicas Antenor Navarro, Sousa e Piranhas (SEDAP/SEMARH, 2001).

No entorno da faixa deprimida da bacia sedimentar, afloram as rochas do Complexo Gnáissico-migmatítico, ao norte e sul, tendo em si variações significativas na evolução do relevo em função de suas locações.

Do grupo do Rio do Peixe destaca-se a Formação Sousa que representa o nível intermediário do Grupo Rio do Peixe, mantendo poucas áreas de afloramento visíveis. A formação é constituída por uma sequência predominantemente pelítica, caracterizada por uma sucessão de camadas finas, paralelas, com fácies carbonáticas, argilosas e, às vezes, areníticas, que dá origem aos solos Vertissolos que ocorrem na área (Figura 3.3).

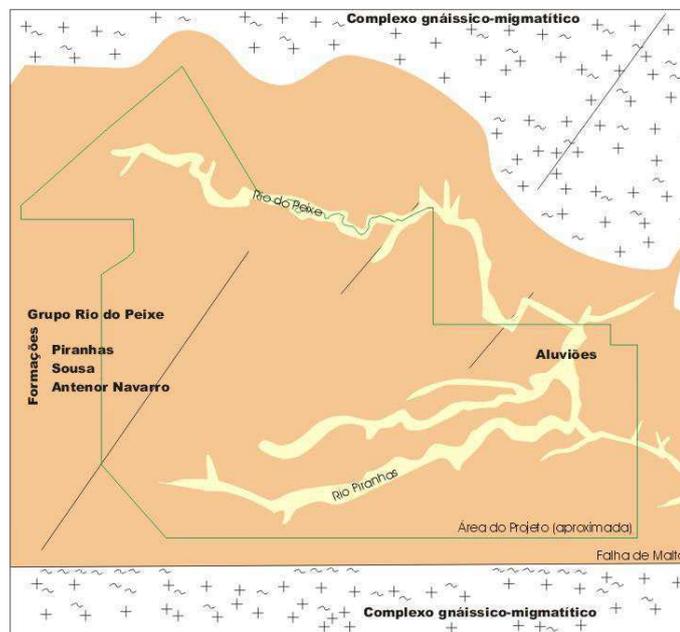


Figura 3.3. Mapa Geológico Regional.

Fonte: Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa, PB. Estudo de Impacto Ambiental - EIA (SEDAP/SEMARH 2001).

3.5. Aspectos Pedológicos e Ocorrência dos Solos

Nos estudos pedológicos da área (Quadro 3.2), foram mapeadas e descritas as seguintes classes de solos: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, Vertissolo Cromado Órtico Típico, Argissolo Vermelho Eutrófico, Neossolo Litólico Eutrófico (SEMARH/EMEP, 1998).

Quadro 3.2. Resumo das classes de solos da área em estudo.

Classe de solos	Símbolo	Classe de solo ¹	Símbolo	Área (ha)	(%)
Solos Aluviais Eutróficos	Ae	Neossolo Flúvico Ta Eutrófico	RUve	5.316,65	39,20
Vertissolos	V	VERTISSOLO HÁPLICO Carbonático típico	VXk	3.612,21	26,60
Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico	PE	Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico	PVe	3.089,95	22,80
Solos Líticos Eutróficos	Re	Neossolo Litólico Eutrófico	RLe	1.550,00	11,40
TOTAL	-	-	-	13.568,81	100,00

FONTE: Estudos Básicos de Aproveitamento Hidroagrícola das Várzeas de Sousa (SEMARH, 1998).

(¹) Adaptado segundo EMBRAPA (2006).

O loteamento do Projeto de Irrigação das Várzeas de Sousa foi realizado na classe dos Neossolos Flúvicos e Vertissolos assim caracterizados: i) Neossolos Flúvicos são solos minerais, pouco desenvolvidos, provenientes de deposições fluviais e coluviais recentes e sub-recentes, sem relação genética entre as camadas, a permeabilidade é variável, há boa fertilidade natural em geral, são profundos de textura média e argilosa, e por vezes apresentam caráter vértico e solódico, com drenagem variando de bem à imperfeitamente drenado. São os solos de maior exploração agrícola local, estando contíguos às calhas dos rios Piranhas e do Peixe, foram destinados aos pequenos produtores em lotes de cinco hectares. ii) VERTISSOLO HÁPLICO Carbonático típico - VXk (EMBRAPA, 2006), compreende solos de alto conteúdo de argila 2:1, com presença de fendas, elevada capacidade de troca de cátions, fertilidade natural alta, porém com limitações decorrentes das condições físicas em função da elevada atividade da argila, ocorrem em relevo plano e apresentam boa profundidade (Figura 3.4). Suas características gerais, morfológicas, físicas e químicas são apresentadas no perfil modal descrito na área Quadro 3.3 (SEMARH/EMEP, 1998). Estes solos foram destinados aos grupos empresariais e estão sendo intensamente cultivados com culturas temporárias (algodão, milho, sorgo, arroz) e permanentes (romanzeira, goiabeira, mangueira).

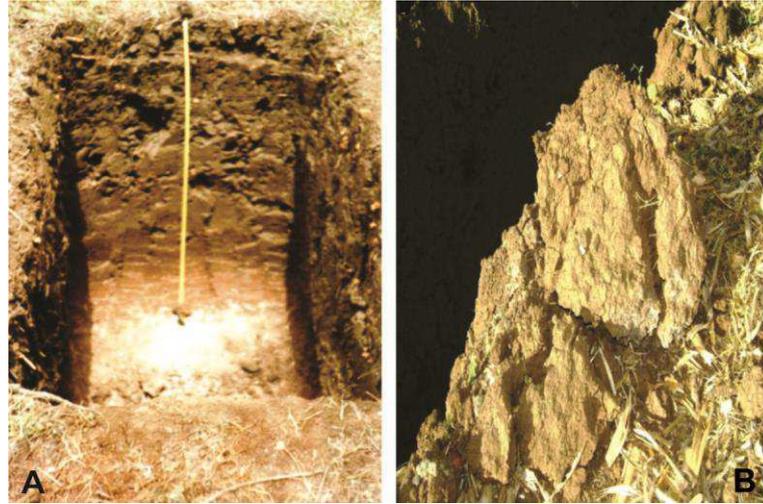


Figura 3.4. Solos: A) VERTISSOLO HÁPLICO Carbonático típico - VXk. B) Estrutura do solo em blocos subangulares, forte, muito grande.

Coordenadas: 06° 47' 02,31'' S e 38° 08' 12,16'' W, altitude 226 m. Descrito e coletado por Menino, I. B. (SEMARH/EMEP, 1998).

Quadro 3.3. Perfil modal dos Vertissolos: Características gerais, morfológicas, físicas e químicas.

a) Atributos gerais

Localização: Perfil aberto em topo plano a 350 m margem esquerda (Sul) da BR 230, sentido Aparecida-Sousa-PB distando 7,95 km do marco inicial do PIVAS.						
Profundidade do sólum (horiz A + C) (cm)	Formação geológica e litológica	Material originário	Relevo regional/local/declividade	Pedregosidade /rochosidade	Vegetação primária/ uso atual	Drenagem
142	Cretáceo. Sedimentos do Rio do Peixe	Folhelhos e Argilitos calcíferos	Suave ondulado/plano 0 - 2%	Ligeiramente pedregoso/ Não rochoso	Caatinga hiperxerófila/ milho, feijão, algodão	Imperfeitamente drenado

b) Atributos morfológicos

Horiz	Prof. (cm)	Cor*	Textura	Estrutura	Consistência	Transição
Ap	0 - 30	5YR ¼ s Bruno avermelhado escuro 5YR 3/2 u Bruno avermelhado escuro	Muito argilosa	Blocos subangulares, forte, grande a muito grande	Duro, firme, plástico e pegajoso	-
C ₁	30 - 72	5YR 3/2 s Bruno avermelhado escuro 5YR 3/2 u Bruno avermelhado escuro	Muito argilosa	Blocos subangulares, forte, muito grande	Duro, friável, plástico e pegajoso	Plana e clara
C ₂	72 - 142	5YR 3/2 seco e úmido Bruno avermelhado escuro	Muito argilosa	Blocos subangulares, forte, muito grande	Extremamente duro, muito firme, muito plástico e muito pegajoso	Plana e difusa
R	142*	-				

(*) A tomada de cores do solo na Carta de Munsell obedeceu às condições: seca (s) e úmida (u).
Raízes: Poucas, fasciculares, finas no horizonte A_p, poucas, secundárias e muito finas no horizonte C₁
Observações: Muita cerosidade no horizonte C₁

Continuação do Quadro 3.3.

c) Atributos físicos

Horizontes		Granulometria			Silte/argila	Densidade		Porosidade total	-----			
Simb.	Prof.	Areia 2,0-0,05mm	Silte 0,05-0,002mm	Argila < 0,002mm		solo	Partícula		CC	PMP	AD	
cm	g/kg.....		g/cm ³		m ³ /m ³			%		
Ap	0- 30	50,8	244,2	705,0	0,35	1,09	2,63	0,59	35,82	26,59	9,23	
C ₁	30 - 72	50,8	222,0	727,2	0,30	1,10	2,63	0,58	38,15	27,49	10,66	
C ₂	72 - 142	44,3	201,1	754,6	0,27	1,12	2,61	0,57	43,44	27,41	16,03	
R	142 ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

(*) Umidade na base gravimétrica. Admitindo-se a Capacidade de Campo e o Ponto de Murcha Permanente correspondentes às tensões de 1/3 atm e 15 atm, respectivamente.
AD - Água disponível

d) Atributos químicos

Horiz	pH (1:2,5)		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ³⁺ + H ⁺	CTC	Valor V	C.org.	N	M.O	C/N	P assimil, mg/dm ³	C.E. do extrato mmhos /cm a 25°C
	Água	Kcl 1NCmol _c dm ⁻³						%	g/dm ³						
Ap	8,04	6,10	26,48	8,83	0,58	0,31	36,20	0,00	36,20	100	4,8	0,4	8,3	12	25	<1
C ₁	8,63	6,40	25,73	8,57	0,55	1,99	36,84	0,00	36,84	100	2,4	0,2	4,1	12	28	<1
C ₂	8,50	6,53	26,68	3,80	0,53	3,07	34,08	0,00	34,08	100	0,9	0,1	1,5	9	63	<1
R	-	-														

Horiz - horizonte; Prof - profundidade

3.6. Aspectos Hídricos e da Vegetação

Embora a área esteja inserida entre os Rios do Peixe e Piranhas, as disponibilidades hídricas superficiais, são provenientes do complexo Coremas/Mãe d'água por meio de um canal adutor com 37 km de extensão e uma vazão regularizada de 4 m³ s⁻¹.

A cobertura vegetal é do tipo caatinga hiperxerófila, apresenta-se em fragmentos, formada por arbustos com fustes tortuosos, ou por vezes quase retilíneos, em geral, cobertos por acúleos ou espinhos destacando-se algumas arbóreas sobre as demais. Ao longo do período de estiagem, as folhagens de pequeno porte e não coriáceas caem quase que totalmente, apresentando, portanto, caráter xerófilo em alto grau (>70%). Entre as poucas espécies florísticas presentes, destacam-se: *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira); *Zizyphus joazeiro* Mart. (Juazeiro), *Anadenanthera falcata* Benth. (angico); *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (aroeira); *Aspidosperma pyrifolium* Mart. (pereiro); *Mimosa hostilis* Benth (jurema-preta); *Jatropha molissima* Pohl. (pinhão); *Cereus jamacaru* DC. (mandacaru); *Cnidoscolus phyllacanthus* Müll. Arg. (faveleira); *Opuntia palmadora* Britton & Rose. (palma); *Amburana cearensis* Fr. All (cumaru, umburana), dentre outras. O extrato herbáceo é pouco representativo e surge normalmente logo no início do período chuvoso.

Além dessa fisionomia de caatinga propriamente dita, faz parte uma vegetação composta por mais dois conjuntos segregáveis: um sistema de caatinga com palmeira, representado por uma única espécie a *Copernicia prunifera* Mill (carnaúba); e uma mata ciliar

com espécies, como: *Licania rígida* Benth.(oiticica), *Geoffroea striata* willd. (marizeira) e *Cobretum leprosum* Mart. (mofumbo) essa vegetação apresenta-se hoje, bastante fragmentada e pouco dispersa dos locais de maior umidade, ou seja, nos leitos dos rios, principalmente do Rio Piranhas e do Rio do Peixe (SEDAP/SEMARH, 2001).

3.7. Segmento 1. Avaliação dos Indicadores de Sustentabilidade para Vertissolos

3.7.1. Materiais - Seleção da área experimental

Para avaliação dos atributos/indicadores físicos e químicos e biológicos de qualidade dos solos Vertissolos, foram selecionados três lotes (LE's 07; 06 e 13), dos quais dois são lotes empresariais explorados com sistemas manejo convencional e orgânico (LE's 07 e 06), respectivamente, cultivados intensivamente há aproximadamente quatro anos, o terceiro lote encontra-se ocupado ainda, por vegetação da caatinga (LE, 13). Em relação à ocupação do solo, cada lote apresentava os seguintes usos:

a) Sistema de manejo convencional conduzido no lote empresarial 07, lado sul, razão social Santana Agropecuária Ltda, (6° 47' 10,49" S e 38° 09' 22,30" W) com altitude de 227 m. Área vem sendo cultivada com grãos e oleaginosas com a prática da rotação de culturas. No período da amostragem a área estava ocupada com algodão (*Gossypium hirsutum* L.) cultivar fibermax 975 WS da Bayer plantado em 16.08.2011. No preparo do solo para o plantio foi realizada uma dessecação dos restos culturais e aração profunda (arado de discos 36/18) incorporando-se restos da palha do milho ao solo. O plantio foi mecanizado com uma semeadeira/adubadeira de 11 linhas no espaçamento 0,76 m entre linhas x 0,10 m entre plantas, com adubação de fundação (350 kg ha⁻¹ de nitrogênio + 10 a 15 g de manganês, boro e enxofre). O sistema de irrigação adotado foi o pivô central fixo com vazão máxima de 163 L s⁻¹ tempo de irrigação de 9 h d⁻¹ de agosto a dezembro (Figura 3.5).



Figura 3.5. Lote empresarial 07, área experimental com sistema de cultivo convencional. Coordenadas: 06° 47' 08'' S e 38° 09' 18,9'' W, altitude 227m.

b) Sistema de manejo orgânico conduzido no lote empresarial 06, lado sul, razão social Fazenda Águas de Tamanduá (6° 47' 46,39'' S e 38° 08' 51,77'' W), com altitude de 221 m. A área está sendo explorada com culturas diversas: romã, moringa, arroz vermelho, abóbora, capim-tifton, capim-elefante e goiaba. A área amostrada de aproximadamente um hectare estava ocupada com a cultura da goiaba (*Psidium guajava* L.) cultivar paluma, plantada no espaçamento 3,0 x 3,5 m. No plantio, realizaram-se o roço, abertura de covas manual, adicionadas compostagem de restos vegetais, esterco ovino, palha de arroz amontoados e curtidos por 90 dias. O sistema de irrigação foi o gotejamento, com dois gotejadores por planta e vazão de 2,30 L h⁻¹ com tempo de irrigação em função do tanque de evaporação classe A, existente na fazenda. Estas áreas estão sendo trabalhadas desde 2008 (Figura 3.6).



Figura 3.6. Lote empresarial 06, área experimental com sistema de cultivo orgânico. Coordenadas: 06° 47' 48,4'' S e 38° 08' 02,9'' W, altitude 220 m.

c) Sistema natural da caatinga conduzido no lote empresarial 13, lado sul, ainda coberto por fragmentos da vegetação da caatinga ($6^{\circ} 46' 07,8''$ S e $38^{\circ} 11' 06,3''$ W), numa altitude de 229 m. Foram identificadas na área as seguintes espécies: *Ziziphus joazeiro* Mart. (juazeiro), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira), *Aspidosperma pyriforme* Mart. (pereiro), *Mimosa hostilis* Benth (jurema-preta), *Croton hemiargyreus* Muell. (marmeleiro), *Jatropha molissima* Pohl. (pinhão-bravo), *Piptadenia macrocarpa* Benth. (angico), *Hyptis emryi* Jacq. (alfazema-brava), *Cassia sericea* L. (mata-pasto) (Figura 3.7).



Figura 3.7. Lote empresarial 13, área experimental com sistema natural da caatinga. Coordenadas: $06^{\circ} 46' 40''$ S e $38^{\circ} 11' 05,4''$ W, altitude 229 m.

3.7.2. Métodos - Coleta de dados

Para a determinação dos indicadores de qualidade dos solos (atributos físicos, químicos e biológicos) na segunda quinzena de agosto 2011, foram abertas em locais escolhidos ao acaso oito minitrincheiras em cada lote e sistema de manejo trabalhado, totalizando vinte e quatro (24) minitrincheiras. Procedeu-se a coleta a três profundidades (0 - 20 cm), (20 - 40 cm) e (40 - 60 cm) perfazendo setenta e duas (72) amostras (Figura 3.8). As quais foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e encaminhadas para análise no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

Para determinação da posição geográfica dos pontos amostrados, foi usado GPS de navegação (Garmin® modelo Etrex Venture HC).

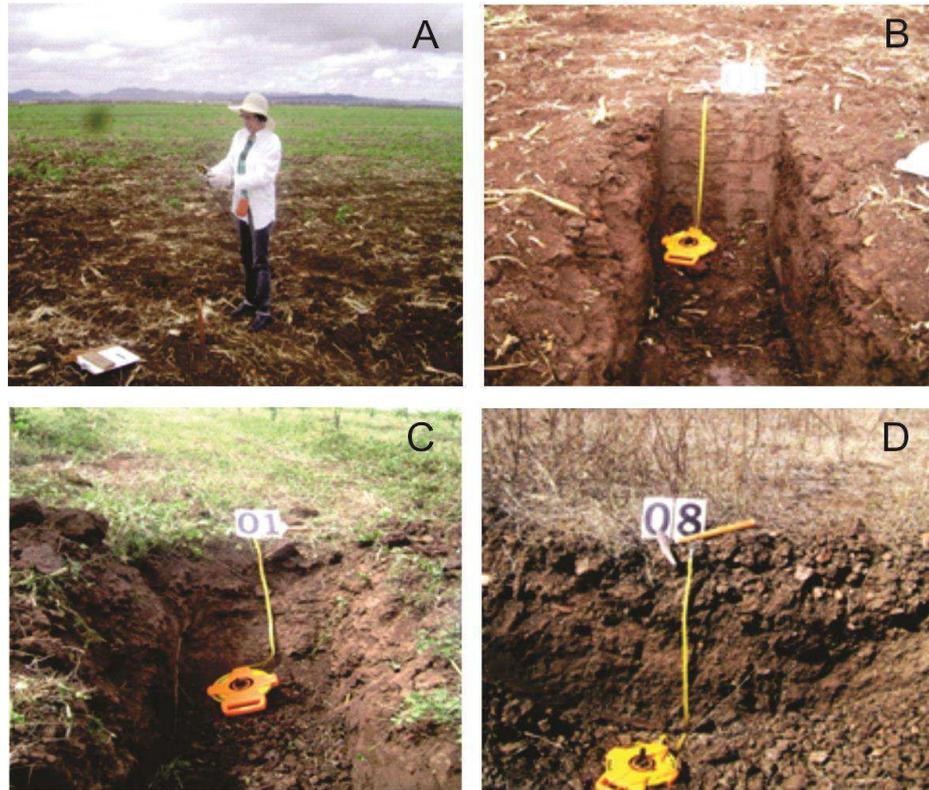


Figura 3.8. Georreferenciamento: A) pontos para abertura das minitrincheiras; B) no sistema de manejo convencional - lote 07. Coordenadas: $06^{\circ} 47' 08,0''$ S e $38^{\circ} 09' 18,9''$ W, altitude 231 m; C) no sistema de manejo orgânico - lote 06, Coordenadas: $06^{\circ} 47' 48,4''$ S e $38^{\circ} 08' 02,9''$ W, altitude 220 m.; D) no sistema natural da caatinga - lote 13. Coordenada: $06^{\circ} 46' 6,65''$ S e $38^{\circ} 11' 06,3''$ W, altitude 229 m.

3.7.2.1. Atributos físicos

Foram determinadas a composição granulométrica e classificação textural (método da pipeta, usando-se como dispersante o hexametáfosfato de sódio), densidade do solo (método do anel volumétrico), densidade das partículas (método do balão volumétrico), relação silte/argila e porosidade total, segundo Manual de Métodos de Análise de Solo (Embrapa, 1997). As constantes hídricas, umidades a 1/3 e 15 atmosferas foram determinadas pelo método da placa e membrana de pressão (RICHARDS, 1949).

3.7.2.2. Atributos químicos

Foram determinados o pH (1:2,5) em água; cálcio mais magnésio ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), potássio (K^+), sódio (Na^+), alumínio (Al^{3+}), hidrogênio (H^+) fósforo assimilável (P), matéria orgânica (MO), nitrogênio (N) e carbono orgânico total, conforme metodologia da EMBRAPA, (1997) e condutividade elétrica (CE) no extrato de saturação obtido na pasta

saturada, de acordo com Richards (1954). Em função dessas determinações foi calculada a soma de bases (S), a capacidade de troca catiônica (CTC), a percentagem de saturação por base (V) e a percentagem de sódio trocável (PST).

3.7.2.3. Indicadores biológicos

Alguns indicadores biológicos do solo foram obtidos por meio de observações de campo e entrevistas estruturadas e semiestruturadas: a) da percepção dos agricultores sobre o que é um solo de boa qualidade e identificação dos atributos que utilizam para sua compreensão; b) análise e sistematização dos conteúdos das entrevistas; c) uniformização mínima da terminologia empregada pelos agricultores; d) seleção dos indicadores mais relevantes, considerando a ordem cronológica e a frequência de citação; e) sistematização das informações prestadas pelos agricultores para organização e uniformização dos procedimentos de avaliação dos indicadores; f) estabelecimento de critérios para qualificar o desempenho dos indicadores; g) definição dos critérios para monitorar a qualidade do solo. Para avaliar o desempenho de cada indicador utilizaram-se três níveis de limitação: alto, médio e baixo, os quais retratam as condições do solo quando do momento da avaliação, segundo percepção do agricultor. Quanto mais baixo nível de limitação, melhor a qualidade do solo.

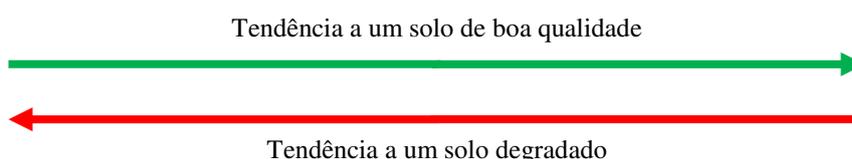
3.8. Métodos de Avaliação dos Indicadores Físicos, Químicos e Biológicos nos Vertissolos

Adotaram-se os níveis de limitações alto (qualidade do solo está totalmente comprometida), médio (qualidade do solo pouco comprometida suportando ainda algum tipo de exploração agrícola) e baixo (qualidade do solo apto à exploração agrícola) expressos nos Quadros 3.4, 3.5 e 3.6, elaborados segundo KIEHL (1979), EMBRAPA (1997), Goedert (2005) e Casalinho (2007) com adaptações da autora.

Quadro 3.4. Guia para avaliação dos indicadores físicos de sustentabilidade nos Vertissolos.

Indicadores físicos	Níveis de limitação dos indicadores					
	Alto		Médio		Baixo	
	Laboratório	Campo	Laboratório	Campo	Laboratório	Campo
Textura (g kg ⁻¹)	>600	Muito argilosa	600		300 - 600	
Estrutura	-	Cuneiforme; Prismática; colunar; blocos angulares; forte; muito grande; extremamente duro e firme quando úmido.	-	Cuneiforme; Blocos angulares e subangular moderada a forte; média a grande; duro a muito duro e firme a muito firme quando úmido.	-	Blocos angulares; fraca a moderada; média a grande; ligeiramente duro a duro; friável a firme quando úmido.
Capacidade de água disponível (%)	<8	As plantas apresentam indícios de murchamento em apenas três dias.	8 - 30	As plantas apresentam indícios de murchamento após o quinto dia.	>30	As plantas apresentam indícios de murchamento após oito dias ou mais.
Porosidade (m ³ m ⁻³)	<0,40	Solo compactação; dificuldade de penetração das raízes; raízes superficiais muitas e tortas.	0,40 - 0,60	Solo pouco compactado; maior penetração das raízes nos horizontes subsuperficiais.	0,60	Solo não compactado; presença razoável de raízes, em praticamente todos os horizontes do solo.
Densidade do solo (g cm ⁻³)	>1,4	Solos de aspecto pesado, compactado, plantações falhadas.	1,25 - 1,40	Solos pouco compactados plantações com poucas falhas.	1,00 - 1,25	Solos bem estruturados; plantas uniformes.
Compactação (Mpa)	4,0 - 6,0	Formação de crosta superficial no solo; empoçamento de água; dificuldade de penetração das raízes; raízes superficiais e tortas e baixa germinação das sementes.	2,5 - 4,0	Indícios da formação de crostas superficiais no solo; plantações com poucas falhas.	1,0 - 2,5	Solos bem estruturados; plantas uniformes.

Fonte: Adaptação Kiehl (1979), EMBRAPA (1997) e Goedert (2005)

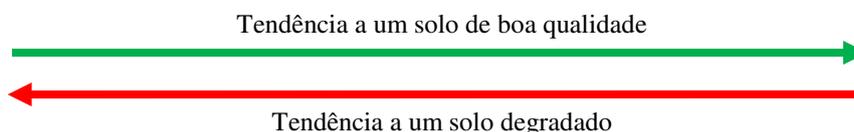


Os níveis de compactação constantes no Quadro 4.1 foram aferidos com base na textura do solo, mais especificamente o teor de argila, considerando-se solos de textura leves abaixo de 20%; médio de 20 a 50% e pesados acima de 50%, classificados segundo CAMARGO et al. (1997); EMBRAPA (2006).

Quadro 3.5. Guia para avaliação dos indicadores químicos de sustentabilidade nos Vertissolos.

Indicadores químicos	Níveis de limitação dos indicadores					
	Alto		Médio		Baixo	
	Laboratório	Campo	Laboratório	Campo	Laboratório	Campo
pH	> 8,5	Solos de coloração esbranquiçados; plantas fracas, susceptíveis a pragas e doenças; baixas produtividades.	7,10 – 8,5	Plantas pouco susceptível a pragas e doenças; produções aceitáveis.	< 7,10	Solos de coloração escura no horizonte superficial, plantas resistentes pragas e doenças; altas produtividades.
CTC efetiva (cmolc dm ⁻³)	< 7		7 - 10		> 10	
Nutrientes:						
P (mg dm ⁻³)	<10		11 - 30		>30	
K (cmolc kg ⁻¹)	< 45		46 - 50		>50	
Ca (cmolc kg ⁻¹)	<2		2 - 5		>5	
Mg (cmolc kg ⁻¹)	<2		2- 5		>5	
CE (dS m ⁻¹ 25°C)	> 4		4		<4	
Carbono Orgânico (g kg ⁻¹)	<0,40	0,41 -2,32	>2,33			
Matéria Orgânica g dm ⁻³	<20	30 - 40	>40			

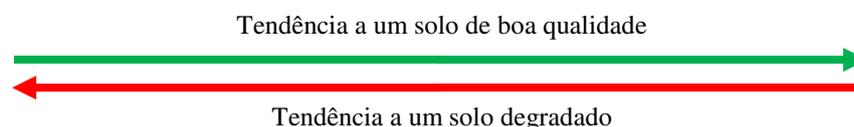
Fonte: Adaptação EMBRAPA (1997) e Goedert (2005)



Quadro 3.6. Guia para avaliação dos indicadores ambientais de sustentabilidade nos Vertissolos.

Indicadores ambientais	Níveis de limitação dos indicadores		
	Alto	Médio	Baixo
	Campo	Campo	Campo
População de minhocas	Ausência de minhocas e canais, dejetos, resíduos orgânicos na superfície.	Presença de duas a quatro minhocas por amostra de solo; poucos canais, cropólitos e resíduos orgânicos na superfície.	Mais de cinco minhocas por amostra; grande quantidade canais, cropólitos abundantes, e resíduos orgânicos no solo.
Presença de matéria orgânica e organismos	Não há vida no solo, ausência de resíduos orgânicos, insetos e/ou pequenas aranhas; horizonte superficial com cores mais claras. Colocar água oxigenada numa amostra de solo úmido não há formação de efervescência ou bolhas.	Observação no solo de presença de material orgânico, térmitas aranhas, formigas na superfície e misturado ao solo; horizonte superficial de coloração pouco escuras; formação de bolhas ou efervescência quando se coloca água oxigenada numa amostra.	Há muita vida no solo; presença de galerias, térmitas, aranhas; boa quantidade de resíduos orgânicos e restos vegetais semi decompostos misturados ao solo; horizonte superficial de coloração mais escura; muita efervescência ou formação de bolhas ao se colocar a água oxigenada numa amostra de solo.
Plantas Indicadoras	Pequena população de plantas; lavoura falhada; plantas com pequeno desenvolvimento, com coloração amarelada ou esbranquiçada, doentes ou muito atacadas por insetos. Presença de plantas tipo: <i>Aristida pallens</i> Cav. (barba-de-bode); <i>Cenchrus echinatus</i> L. (capim-carrapicho); <i>Brachiaria plantaginea</i> Link. (capim-marmelada ou papua); <i>Cynodon dactylon</i> L. (grama-seda); <i>Sidasp.</i> (guanxuma) <i>Mimosa acustipula</i> Mart. (jurema-preta)	Plantas ainda abaixo do normal; crescimento ainda lento; cores mais naturais, com pouco viço; algumas doentes ou atacadas por insetos. Presença de plantas tipo: <i>Senna sericea</i> L. (mata-pasto) <i>Hyptis suaveolens</i> L. (alfazema-brava) <i>Sida cordifolia</i> L. (malva-branca).	População de plantas adequadas; plantas saudias, desenvolvimento normal; vigorosas, com muito viço; resistentes ao ataque de doenças e insetos. Presença de plantas tipo: <i>Phaseolus patyroides</i> L. (feijão-de-rola) <i>Senna sericea</i> L. (mata-pasto) <i>Hyptis suaveolens</i> L. (alfazema-brava) <i>Sida cordifolia</i> L. (malva-branca).

Fonte: Adaptação Casalinho (2007)



3.9. Resistência à Penetração

Para avaliação da resistência mecânica do solo à penetração, utilizou-se um medidor eletrônico de compactação do Solo, o PenetroLOG® PLG1020 (FALKER, 2009), com registro de leituras a cada 0,5 cm até uma profundidade de 60 cm do solo, medida em Kpa com armazenamento de dados na forma digital. Para cada minitrincheira foram feitas três leituras, totalizando 24 leituras para cada lote, adotando-se o seguinte procedimento: para o LE 07 – a leitura foi feita após a aplicação da lâmina de irrigação por pivô central fixo com vazão máxima de 163 litros/segundo, com tempo de irrigação de nove horas/dia; No LE 06 – onde o sistema de irrigação é feito com dois gotejadores por planta e vazão de 2,30 L h⁻¹, em função do tanque de evaporação classe A existente na área, com leituras realizadas próximo a trincheira e raio de molhamento do solo no dia 15.11.2011. Para o LE 13, ocupado com sistema de manejo da caatinga, as leituras foram feitas dois dias após uma chuva de 11 mm no dia 08.03.2012 (Figura 3.9).



Figura 3.9. Avaliação da resistência à penetração no sistema de manejo convencional - lote 07. Coordenadas: 06° 47' 09,5'' S e 38° 08' 46,6'' W. Fonte: Trabalhos de campo.

Para aferição das pressões exercidas, ou seja, a resistência à penetração no solo, utilizou-se as especificações do medidor eletrônico de compactação do solo, Nota de Aplicação - PGL1020-N.3, Falker (2009), consideradas em três níveis: *i*) toleráveis aqueles nos quais não existe perda de produtividade por causa da compactação; *ii*) críticos aqueles em

que normalmente ocorrerão perdas pela compactação e *iii*) intermediários aqueles em que existe potencial para perdas de produtividade pela compactação, mas esta dependerá da associação com outros fatores. Foram considerados os níveis para solos pesados por tratar-se de Vertissolos de textura argilosa (Figura 3.10).

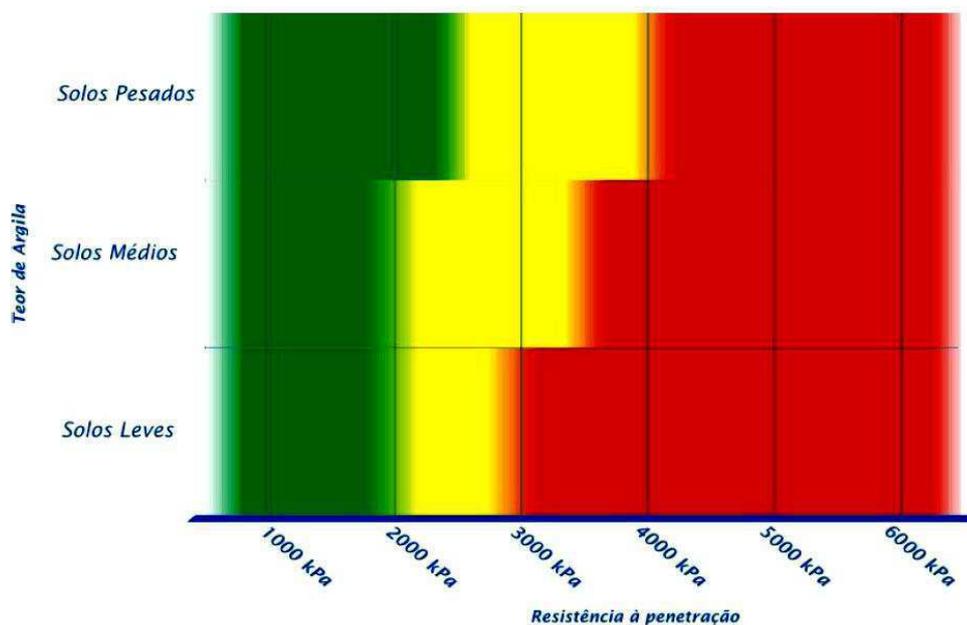


Figura 3.10. Níveis críticos de resistência à penetração em função do teor de argila do solo. Fonte: Parâmetros para avaliação de resistência à penetração. Nota de Aplicação - PGL1020-N.3; Falker, Automação Agrícola. Rev-Ago, p.4, 2009.

3.10. Delineamento Estatístico

O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado com arranjo de parcelas subdivididas com 8 repetições. As parcelas foram representadas por três sistemas de manejo: convencional (SMC); Orgânico (SMO); caatinga (SMCa), e as subparcelas por três profundidades (0-20 cm; 20-40 cm; e 40-60 cm), dos solos Vertissolos para fins de mensuração das variáveis dos indicadores de sustentabilidade estudados.

As variáveis dependentes estudadas foram as seguintes:

Físicas: textura, estrutura, capacidade de água disponível, umidade gravimétrica do solo, porosidade, densidade e compactação.

Químicas: pH, CTC efetiva, nitrogênio do solo, P; K⁺; Ca²⁺; Mg²⁺; Al³⁺ e condutividade elétrica. As análises estatísticas foram realizadas de acordo com GOMES (1995).

Indicadores biológicos: população de minhocas (presença de cropólitos), matéria orgânica e organismos (expressa pela cor do solo, restos vegetais decompostos) e plantas indicadoras.

Os efeitos dos sistemas de uso e manejo sobre os atributos físicos e químicos, nas diferentes profundidades estudadas, foram verificados a partir das médias da análise de variância pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, com o uso do software SAS (2003).

3.11. Segmento 2. Análise do Espaço Temporal do Uso do Solo e da Vegetação da Caatinga

3.11.1. Material cartográfico

Foram utilizados cartas topográficas, mapa do Perímetro Irrigado Várzeas de Sousa (PIVAS), folha SB.24-Z-A-V SOUSA, editadas pelo MINTER/SUDENE no ano de 1972, na escala de 1:100.000, produtos de sensores orbitais 5 e 7 imagens TM/Landsat-5, mapas temáticos, GPS (*Global Positioning System*), máquina digital, além do suporte computacional físico (*hardware*), lógico (*software*) e material bibliográfico. Foi utilizado o software SPRING versão 5.1.8, de domínio público, desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

As imagens foram adquiridas a partir do catálogo de imagens INPE, disponíveis de forma gratuita no site desse instituto. Para seleção das imagens, adotou-se como critérios: 1) a menor cobertura e distribuição de nuvens possível e 2) pertencerem ao mesmo período do ano. No Quadro 3.7, apresentam-se as imagens TM Landsat-5 selecionadas para área de estudo.

Quadro 3.7. Imagens TM/Landsat (1998-2011) utilizadas na pesquisa.

Satélite	Data da Imagem	Sensor	Órbita/Ponto	Resolução Espacial	Cobertura de Nuvens
LANDSAT 5	18.09.1998	TM (Thematic Mapper)	216-65	30m	Zero
LANDSAT 5	23.09.2011	TM (Thematic Mapper)	216-65	30m	Zero

Fonte: [http://www.inpe.br/Catálogo de imagens CBERS ou LANDSAT](http://www.inpe.br/Catálogo%20de%20imagens%20CBERS%20ou%20LANDSAT)

A metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho constou das seguintes etapas: georreferenciamento ou registro das imagens, processamento digital das imagens, manipulação dos contrastes, operações aritméticas, composição multiespectral ajustada,

segmentação, classificação de padrões, trabalhos de campo, editoração de mapas temáticos no modo Scarta, e quantificação das áreas e análise. O foco principal foi o conhecimento, avaliação do uso atual do solo, quantificação da vegetação da caatinga na área do projeto, ou seja, supressão e ou regeneração, com vistas a indicação de medidas mitigadoras a preservação desse bioma.

3.11.2. Georreferenciamento ou registro das imagens

Após a aquisição das imagens T/M LANDSAT 5 dos anos de 1998 e 2011, procedeu-se o georreferenciamento ou registro das imagens, o qual compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas da imagem (x, y) com coordenadas de um sistema de referência. No presente trabalho, foram empregados aproximadamente 20 pontos de controle em cada imagem, sendo estes bem distribuídos para evitar que alguma região ficasse sem referência, tendo em vista que as transformações tendem a se comportar adequadamente apenas na região onde se encontram os pontos de controle.

Esta operação de registro fez com que uma imagem se ajustasse perfeitamente a outra, de forma que cada ponto, na imagem, sobrepõe-se ao seu correspondente no plano de informação original, conforme preconizado pelo sistema (INPE, 2004).

3.11.3. Processamento digital das imagens

No processamento digital das imagens, foram realizadas algumas melhorias na imagem para facilitar o processo de classificação das imagens com base nas técnicas computacionais, visando-se extrair informações sobre alvos da superfície terrestre, ou seja, do solo, vegetação e uso da terra. Inclui-se o ajuste de contraste para diversas composições coloridas falsa-cor nas diferentes imagens utilizadas, visando a facilitar o reconhecimento das amostras para cada classe. As composições falsa-cor foram trabalhadas associando-se cada imagem a um canal (RGB), de acordo com a necessidade da amostra para o treinamento na classificação.

Os procedimentos aplicados às imagens seguiram o passo a passo do Tutorial de Geoprocessamento do SPRING nas seguintes etapas: *i) pré-processamento* referente ao processamento inicial de dados brutos para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruído. Esta fase segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007) tem o objetivo de preparar as imagens para serem efetivamente utilizadas; *ii) técnicas de*

realce visando melhorar a qualidade visual das imagens, permitindo uma melhor discriminação dos objetos presentes na imagem e *iii) classificação de imagens* - neste procedimento foram atribuídas classes aos objetos presentes na imagem.

3.11.4. Manipulação de contraste das bandas 5, 4 e 3

Procederam-se as técnicas de realce e manipulação dos contrastes para melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano, sendo utilizadas como etapa do pré-processamento para o sistema de reconhecimento dos padrões adotados. O contraste entre dois objetos foram definidos como a razão entre os seus níveis de cinza médios. A manipulação do contraste consistiu da transferência radiométrica em cada "pixel", visando aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem, posteriormente realizou-se a operação ponto a ponto, independentemente da vizinhança. Esta transferência radiométrica foi realizada com ajuda de histogramas, que foram manipulados para se obter o realce desejado (CÂMARA ET AL., 1996).

3.11.5. Operações aritméticas - razão entre bandas – IVDN das bandas 4 e 3

Esta operação foi realizada “pixel a pixel”, entre imagens de bandas diferentes, através de uma regra matemática definida, tendo como resultado uma nova banda representando a combinação das bandas originais. As operações mais comuns foram à soma, subtração, divisão (ou razão entre bandas) e a multiplicação de uma banda por uma constante (realce linear). Estas operações permitiram comprimir os dados, diminuindo o número de bandas. Ocorreu perda da informação original quando os resultados das operações ultrapassaram o intervalo de 0-255. Nesse caso, os resultados são normalizados, saturando os valores abaixo de 0 em 0, e os acima de 255, em 255, causando perda de informação espectral. Estas operações requereram um fator de ganho (multiplicativo) ou "off-set" (aditivo), para melhorar a qualidade de contraste da imagem, os quais foram definidos considerando a faixa de valores de entrada e a operação a executar. A operação de adição foi utilizada para realçar similaridade entre bandas ou diferentes imagens e a subtração, a multiplicação e divisão, foi utilizada para realçar as diferenças espectrais do par das bandas, caracterizando determinadas feições de curva de assinatura espectral de alguns alvos. Para aumentar o contraste entre solo e vegetação, utilizou-se a razão entre bandas referentes ao vermelho e infravermelho próximo,

constituindo os chamados Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), obtidos pela Equação 1 para a área trabalhada.

Equação 1
$$C = \text{Ganho} * (A - B) / (A + B) + \text{Off-set} \quad (1)$$

onde: **A** é substituído pela banda quatro do vermelho e **B** pela banda três do vermelho próximo, o **ganho** é dado de acordo o histograma das imagens e Off-set pode ser usado valores de 32; 64 ou 128, em concordância com histograma das imagens.

3.11.6. Composição multiespectral ajustada (b3 + IVDN + b1) - (CMA)

Para obtenção da composição multiespectral ajustada (CMA) procedeu-se a transformação (RGB) em que a fonte de luz vermelha (R), foi posicionada na banda 3, na fonte verde (G) a imagem **IVDN**, vindo da operação ($C = \text{Ganho} * (A - B) / (A + B) + \text{Off-set}$) e na fonte azul (B) a banda 1. Com esse procedimento as áreas de alto valor apareceram em verde (ocorrência de vegetação) e as áreas de baixo valor apareceram em vermelho ou azul (magenta ou ciano), indicando a presença de solo exposto.

3.11.7. Segmentação das imagens IVDN por crescimento de regiões

Procede-se o agrupamento dos dados, onde inicialmente, o processo de segmentação rotula cada “pixel” como uma região distinta e utilizou-se o critério de similaridade para cada par da região adjacente espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatística que testa a média entre regiões. Em seguida, dividiu-se a imagem em um conjunto de subimagens e então se realizou a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido (CÂMARA ET AL., 2001).

3.11.8. Classificação de padrões das imagens IVDN

Para a segmentação das imagens IVDN foi utilizado o classificador Battacharya. A equação 2, analisa em cada região a distância de *Bhattacharya*.

Equação 2
$$B(pi, pj) = \frac{1}{2}(m1 - m2)^T \sum (mi - mj) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\sum (mi - mj)|}{|\sum i|^{1/2} |\sum j|^{1/2}} \quad (2)$$

onde: B = distância de *Bhattacharya*; pi e pj = pixels nas classes i e j ; mi e mj = médias das classes i e j ; T = matriz transposta; \ln = logaritmo neperiano; e i e j = classes dentro do contexto.

Para fazer a classificação, foram coletadas 20 amostras, por tema e ano, baseada no reconhecimento dos padrões de comportamento espectrais das diferentes classes na imagem, como cor, textura e rugosidade de cada alvo. A definição das classes foi obtida a partir da análise visual das tonalidades de cinza, na tela do computador. As tonalidades de cinza clara a médio foram consideradas como representativas da cobertura vegetal, as escuras como representativas de corpos d'água e as tonalidades de cinza de médio a escuro como representativas do solo exposto.

As imagens classificadas foram vetorizadas por meio da função mapeamento o que permitiu fazer uma quantificação das diferentes classes temáticas abordadas na pesquisa tais como a vegetação, solo e água. Moreira et al. (2009) pesquisaram diferentes algoritmos de classificação e concluíram que o algoritmo de classificação *Battacharya* foi o que discriminou de forma mais precisa as classes de uso e cobertura da terra.

A quantificação das áreas em hectares foi considerada relativa, onde a soma de seus valores correspondem à área total do projeto. Os dados finais foram levados para o módulo SCARTA do SPRING para criação dos mapas e inserção das legendas.

3.11.9. Análise das imagens digitais do TM/LANDSAT-5 para interpretação preliminar

Para a interpretação visual de imagens digitais tomou-se por base o método sistemático desenvolvido por VENEZIANI e ANJOS (1992), o qual consistiu em uma sequência de etapas lógicas que independem do conhecimento prévio da área e da utilização das chaves fotointerpretativas. Procedeu-se, também, uma correlação com os dados levantados no campo tanto em termos dos recursos naturais, quanto dos aspectos socioeconômicos, permitindo compatibilizar as informações fornecidas pelas imagens com a realidade terrestre.

3.11.10. Trabalho de campo

O trabalho de campo constou do reconhecimento preliminar da área com anotações dos solos, ocorrência e tipos da vegetação, recursos hídricos, relevo, sistema de exploração agrícola, degradação, localização da área de reserva legal e preservação permanente. Foram feitos registros fotográficos, georreferenciamento dos três lotes (LE's) anteriormente selecionados para avaliação das características morfológicas e dos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos Vertissolos com os seus respectivos sistemas de manejo, objetivando subsidiar a análise digital das imagens. Nesta etapa foi possível um maior aprofundamento dos conhecimentos da dinâmica ambiental do solo e vegetação para o período compreendido entre 1998-2011 observando as mudanças ocorridas na área de estudo nesse espaço temporal (Quadro 3.8).

Quadro 3.8. Amostragem da inspeção de campo realizada em 16.08.2011 para validação dos resultados.

Pontos observados	Coordenadas local/Altitude	Vegetação	Solo	Relevo	Observações
Cultura algodão	6°46'57,62" S 38°09'11,60" O 220 m	Agricultura convencional tecnificada, Cultura do algodão.	Vertissolo muito argiloso	Plano	Áreas com culturas agrícolas e áreas sem cultivo
Cultura Romã	6°47'37,14" S 38°09'17,56" O 221m	Agricultura orgânica, Cultura da romã.	Vertissolo argiloso	Plano	Áreas com culturas agrícolas e áreas sem cultivo
Vegetação Caatinga rala	6°46'39,79" S 38°11'19,50" O 230 m	Vegetação Caatinga rala	Argiloso com pedregosidade	Suave ondulado	Área do lote 13, fragmentos da caatinga aberta e rala
Reserva legal	6°47'52,65" S 38°08'24,04" O 218 m	Vegetação Caatinga densa a semidensa	Areno argiloso/neossolos flúvicos	Plano	Área próxima ao rio piranhas, pertencente a mata ciliar
Cultura goiaba	6°47'44,78" S 38°03'517,54" O 222 m	Agricultura orgânica, Cultura da goiaba.	Vertissolo argiloso	Suave ondulado	Áreas com culturas agrícolas e áreas sem cultivo
Vegetação Caatinga densa	6°45'55,55" S 38°10'34,72" O 225 m	Vegetação Caatinga densa	Argiloso	Suave ondulado	Área do rio do peixe
Solo exposto	6°48'15,68" S 38°10'29,29" O 225 m	Indícios de degradação	Argiloso	Suave ondulado	Próximo ao açude lagoa do forno.

Fonte: Pesquisa de campo

3.11.11. Análise da cobertura vegetal e degradação do solo

A avaliação ambiental (solo x vegetação) foi constituída a partir dos níveis da degradação do solo e das classes de cobertura vegetal discriminado por: “muito baixo, baixo, moderado, grave a moderado e grave” (Quadro 3.9), segundo Barbosa et al. (2005).

Quadro 3.9. Indicadores fotointerpretativos dos níveis de degradação.

Indicadores	Características	Níveis de degradação
Vegetação	Rala, porte predominante arbustivo com poucos e esparsos indivíduos arbóreos.	Grave
Uso da Terra	Vegetação nativa intercaladas com áreas de cultura e pastagem. Pecuária extensiva e semi-extensiva.	
Erosão	Acentuada, em áreas de relevo plano a suave ondulado predominância de erosão laminar. Em relevo mais declivoso presença de sulcos e em alguns pontos ravinas e voçorocas.	
Detritos orgânicos na superfície	Poucos a raros, nas áreas de vegetação nativa	
Densidade populacional	Média a média alta. Migração.	
Vegetação	Densidade média, porte predominante arbustivo com exemplares arbóreos.	Grave a Moderado
Uso da Terra	Vegetação nativa, pecuária extensiva, agricultura de sequeiro e/ou pequena irrigação.	
Erosão	Moderada, laminar, com ou sem a presença de sulcos incipientes.	
Detritos orgânicos na superfície	Presente em quantidade média.	
Densidade populacional	Média a alta.	
Vegetação	Densidade média, porte arbustivo com exemplares arbóreos.	Moderado
Uso da Terra	Vegetação nativa, pastagem, pecuária extensiva, agricultura de sequeiro e/ou pequena irrigação.	
Erosão	Moderada, laminar, com ou sem a presença de sulcos.	
Detritos orgânicos na superfície	Presente em quantidade média.	
Densidade populacional	Média	
Vegetação	Densidade alta, porte arbóreo e arbustivo.	Baixo
Uso da Terra	Vegetação nativa, culturas agrícolas; pastos; pecuária extensiva em pequena escala. Manejo florestal.	
Erosão	Baixa. Laminar. Ausência de sulcos.	
Detritos orgânicos na superfície	Quantidade de média a alta.	
Densidade populacional	Baixa a média.	
Vegetação	Densidade alta a muito alta, porte predominantemente arbóreo e arbustivo.	Muito Baixo
Uso da Terra	Vegetação nativa	
Erosão	Não perceptível	
Detritos orgânicos na superfície	Quantidades expressivas; presença de gramíneas e herbáceas.	
Densidade populacional	Muito baixa ou nula.	

Fonte: Adaptado de Barbosa et al. (2005).

O levantamento da cobertura vegetal e da degradação do solo foi realizado para os dois períodos distintos, 1998 e 2011. Esses resultados permitem avaliar a evolução da dinâmica na degradação ambiental a partir dos dados obtidos pelo processo computacional para o intervalo de (13) treze anos, o comprometimento dos recursos de vegetação, solo e dos recursos hídricos importantes no conhecimento do aumento e/ou diminuição das áreas antropizadas (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Comparação das medidas de classe imagens TM Lansat ano 1998 e 2011 na área de abrangência do PIVAS - Sousa-PB.

Classes de vegetação	Área 1998 (ha)	Área 2011 (ha)	Δ da área (ha)	Δ percentual (%)
Vegetação densa	1.265.670	375.660	-890.010	70,32
Vegetação semidensa	993.240	2.507.670	1.514.430	152,47
Vegetação rala	6.290.730	3.933.900	-2.356.830	37,47
Solo exposto	1.224.810	554.490	-670.320	54,73
Culturas agrícolas	603.450	2.436.930	1.833.480	303,83
Água*	23.670	26.280	2.610	11,03
Áreas sem cultivos	0	1.078.730	1.078.730	1.078.730
Total	10.401.570	10.401.570	-	-

* A água não corresponde a uma classe de cobertura vegetal, tendo sido considerada para efeito de totalização da área em estudo

Δ = diferença de área

Adotaram-se quatro classes de cobertura vegetal (densa, semidensa, rala e culturas agrícolas), além de se quantificar as áreas de solo expostos e corpos d'água de superfície. As classes de cobertura vegetal mais críticas e os níveis mais graves de degradação estão associados às tonalidades de cinza mais escura detectadas na banda 4 das imagens; já as classes mais preservadas e os níveis mais baixos estão associados as tonalidades de cinza mais claras. Após a edição de todas as classes, procedeu-se uma comparação entre os planos de informação obtendo-se a quantificação da vegetação para os anos 1998 e 2011 interpretados nas imagens.

3.12. Segmento 3. Diagnóstico das Vulnerabilidades Socioeconômicas e Ambiental

3.12.1. Aplicação de questionários para o diagnóstico socioeconômico

Para o estudo das vulnerabilidades procedeu-se a aplicação de 50 questionários (Anexo 1), sendo 25 questionários aplicados em área do projeto de irrigação das Várzeas de

Sousa (PIVAS) e 25 questionários em áreas do projeto cedidas ao Instituto de Colonização e Reforma Agrária da Paraíba - INCRA-PB, hoje, denominadas assentamento Nova vida I. O percentual foi de aproximadamente em 20% das famílias residentes na área do projeto (Figura 3.11).



Figura 3.11. Aplicação dos questionários: A) em lotes do Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB. Coordenadas: 6° 48' 41,34" S e 38° 08' 15,39" O e B no Assentamento Nova Vida I. Coordenadas: 6° 46' 57,94" S e 38° 08' 00,59" O.

As variáveis foram obtidas por meio da aplicação dos questionários e tabulados resultando as equações da reta que definem o fator vulnerabilidade. Divididas em quatro classes que podem variar de zero a 100 (cem), ou seja, vulnerabilidade nula a máxima, respectivamente (Tabela 3.4). A metodologia foi desenvolvida por Rocha (1997), tendo sido adaptada para as condições do Semiárido Paraibano por Araújo (2002),

Tabela 3.4. Divisão das classes de vulnerabilidades.

Classes de Vulnerabilidade			
Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
0-15	16-30	31-45	Maior do que 45

Fonte: ROCHA (1997); adaptada por ARAUJO (2002).

O fator da vulnerabilidade social, econômica tecnológica e ambiental foi levantado por meio das variáveis (Tabela 3.5), segundo Barbosa (1997).

O cálculo das Vulnerabilidades foi obtido a partir da equação da reta $V = ax + b$ onde V = vulnerabilidade variando de zero (nula) até 100 (máxima); a e b = constantes para cada fator e x = valor significativo encontrado.

Tabela 3.5. Fator vulnerabilidade e as respectivas variáveis estudadas.

Fator Vulnerabilidade	Variável
Social	Demográfica, habitação, consumo de alimentos, participação em organizações associativas, salubridade rural.
Econômica	Produção vegetal, animais de trabalho, animais de produção, verticalização de matéria prima, comercialização, crédito e rendimento.
Tecnológica	Uso de tecnologias, propriedades das máquinas e equipamentos.
Ambiental (susceptibilidade às estiagens)	Recursos hídricos, irrigação, produção, manejo da caatinga, exploração de espécies nativas, armazenamento, observação das previsões de chuva, ocupação nas estiagens, administração rural, histórico das secas, sugestões, migração.

Fonte: BARBOSA (1997)

3.12.2. Editorações de mapas temáticos

Os mapas finais das classes de solo, vegetação, uso e níveis de degradação atual foram criados no módulo SCARTA do SPRING.

A partir dessas informações levantadas no (anexo I e anexo II), foi possível quantificar as vulnerabilidades apresentadas pelos agricultores familiares e assentados na área do projeto de irrigação e refletir sobre a construção das formas de intervenção na área, que permitam a sustentabilidade do projeto e desenvolvimento da região.

CAPITULO 4

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Atributos físicos

Observa-se, na Tabela 4.1, que a análise granulométrica não apresentou diferença de amplitude textural para os sistemas de manejo estudados permanecendo na classe muito argilosa para (SMC e SMO) com valores que variam de 710 a 641 g kg⁻¹ e argilosa no (SMCa) com valores de 438 a 499 g kg⁻¹ com aumento dos teores de argila em profundidade, não diferindo da classe textural do perfil modal descrito na área em 1998, por ocasião dos estudos preliminares para implantação do projeto (Quadro 3.3) anteriormente citado. Por outro lado, Fageria (1989), relata que a textura é uma importante propriedade física a ser avaliada como indicador de manejo do solo, ela não se altera por práticas culturais, pode apenas, ser melhorada pela incorporação de matéria orgânica ao solo, favorecendo a sua estruturação e estabilidade dos agregados do solo. Provavelmente, o elevado teor de argila e o aumento em profundidade, sejam em decorrência do material de origem (argilitos) e da perda seletiva desta fração na superfície, já que o processo de fendilhamento e a presença de “*slickensides*” observados indicam que a pedoturbação parece ter sido suficiente para promover a homogeneização textural, conforme abordagem para feita para estes solos por Corrêa et al. (2003).

Os valores de (DS) encontrados na Tabela 4.1 comportaram-se dentro da amplitude de normalidade adotados para os solos de textura argilosa (1,0 – 1,6 g cm⁻³) conforme determinado em estudos de Buckman e Brady (1983), para os Vertissolos de textura muito argilosa e em função dos sistemas de manejo trabalhados há aproximadamente quatro anos. Observa-se uma variação de 1,16 a 1,21 g cm⁻³ nos SMO e SMC com sutis aumentos em profundidade o que pode sinalizar que com o decorrer do tempo e práticas de manejo adotadas, esses valores venham a ser totalmente alterados. Já se evidencia indícios de compactação no SMC quando correlacionado aos valores de resistência à penetração na camada de 20 – 40 cm. Houve uma pequena redução da PT em profundidade, o que é considerado um comportamento esperado. Esses resultados se assemelham aos estudos feitos por Fonseca et al. (2007), em solos de cerrado com textura argilosa, e sob duas rotações de cultura. A camada de 20 – 40 cm apresentou DS para o SMCa de 1,31 g cm⁻³, atribuindo-se,

possivelmente, a uma dispersão da argila no solo, promovendo o arranjo dos argilominerais com preenchimento dos poros nos períodos de umidade e ressecamento, uma vez que, essa área (LE 13) embora esteja ainda coberta por vegetação da caatinga, apresentasse em extratos esparsos e semidensa, porém, esses valores não diferem estatisticamente dos demais. Os valores encontrados para densidade do solo representam o estado atual do solo, uma vez que é passível de variar, para mais por efeito da compactação, ou para menos pela incorporação de matéria orgânica. Portanto, a DS, deve ser interpretada como um valor relativo, principalmente para os solos em questão (Figura 4.1).

Tabela 4.1. Atributos físicos dos Vertissolos para os sistemas de manejo convencional (SMC), sistema de manejo orgânico (SMO) e sistema de manejo caatinga (SMCa) nas três profundidades estudadas.

SM*	Prof.	Variáveis								
		Areia	Silte	Argila	DS	Dp	Porosidade			RP
							Total	Macro	Micro	
cm	g kg ⁻¹		g cm ⁻³		m.m ⁻³			Mpa		
SMC	0 - 20	158b	153a	699a	1,21a	2,50b	0,514a	0,031a	0,482a	0,336b
	20 - 40	161b	143a	695a	1,22a	2,50b	0,509b	0,032b	0,478b	2,132a
	40 - 60	151b	139a	710a	1,22a	2,49b	0,513a	0,032a	0,481a	1,318b
SMO	0 - 20	197b	162ab	641a	1,16a	2,53ab	0,541a	0,034a	0,508a	0,129b
	20 - 40	191b	167a	642a	1,18a	2,51b	0,525a	0,033a	0,493a	1,159b
	40 - 60	200b	146b	654a	1,21a	2,52ab	0,518 ab	0,032ab	0,487ab	1,576a
SMCa	0 - 20	415a	147a	438b	1,23ab	2,60a	0,528b	0,033b	0,496b	0,224b
	20 - 40	403b	139a	458b	1,31a	2,59a	0,526ab	0,033ab	0,494ab	0,626c
	40 - 60	410c	149a	449b	1,23ab	2,59a	0,530a	0,033a	0,497a	0,859b

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, considerando o mesmo sistema de manejo.

*Sistema de Manejo (SM); Profundidade (Prof.); Densidade do solo (DS); Resistência a penetração (RP); Água disponível (AD); Porosidade Total (PT).

A utilização agrícola provoca aumentos na densidade, em relação ao solo sem interferência antrópica, conforme se pode confrontar com os valores de DS apresentados no perfil modal, atenta-se que os valores obtidos no SMO são os mais próximos. Uma possível justificativa para os resultados encontrados é ainda o manejo utilizado por esses empreendedores na área de ocorrência desses solos, onde no SMC segundo o administrador, é feita uma aração e uma gradagem niveladora por ocasião do plantio alguns resultados tais como obtidos por Tormena et al. (2002); Araújo et al. (2004) e Costa et al. (2006), em que foram registrados valores mais altos nas camadas 10-20 e 20-30 cm para o SMC, foram atribuídos à acomodação do solo juntamente com o tráfego de máquinas no sistema num período maior de tempo. Resultados observados por Mota et al. (2011) sobre a qualidade dos

atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico em diferentes sistema de manejo (mata nativa, cana de açúcar e pastagem) com teor de argila entre 300 a 500 g kg⁻¹ mencionam que a degradação dos atributos físicos, que conferem a qualidade do solo, intensifica-se nas camadas superficiais do solo, na área de cultivo convencional de cana de açúcar e pastagem, onde a compressão mecânica e pisoteio animal são fatores atuantes.

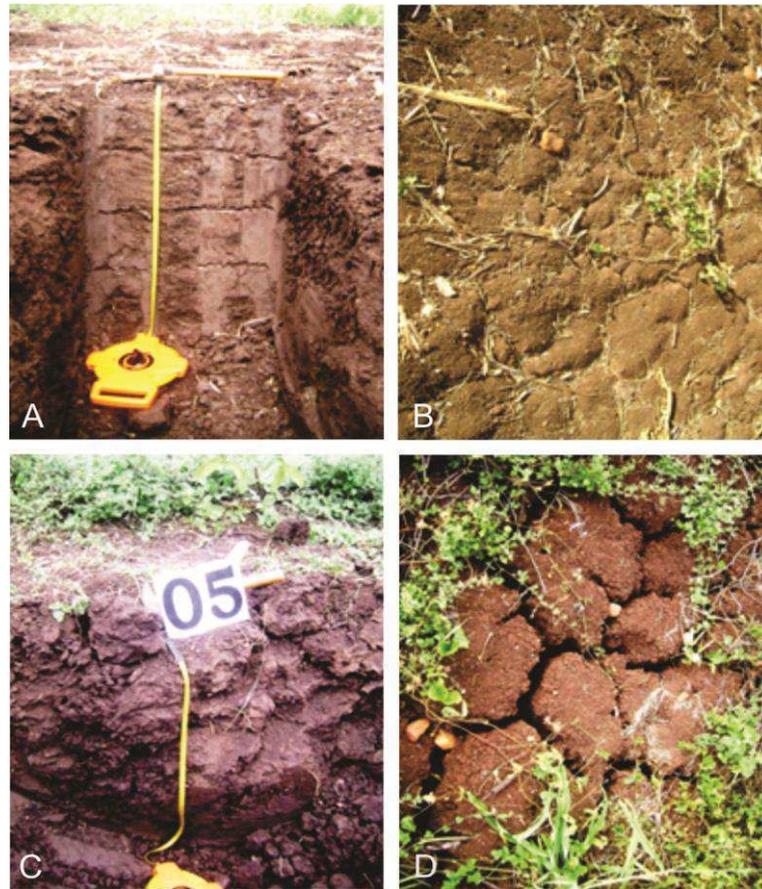


Figura 4.1. Minitrincheira no sistema de manejo convencional lote 07, evidenciando: A) adensamento nos horizontes do solo. Coordenadas 06° 47' 06,4'' S e 38°09'18,2'' W; B) adensamento na camada superficial do solo. Coordenadas 06° 47' 08,0'' S e 38° 09' 18,9'' W; C) Minitrincheira no sistema de manejo orgânico, lote 06, evidenciando melhor estruturação e menor adensamento do solo. Coordenadas 06° 47' 44,7'' S e 38° 08' 02,3'' W; D) Condições naturais de fendilhamento do solo no sistema de manejo orgânico. Coordenadas 06° 47' 40,9'' S e 38° 08' 59,6'' W.

Outro aspecto a ser considerado, é o volume total de poros, situando-se acima de 50% para os três sistemas de manejo, no entanto, foram observados valores maiores de porosidade total na camada de 0 - 20 cm para SMO com 0,54 m m⁻³ e na SMCa com 0,53 m m⁻³, porém os valores da porosidade total são mais expressivos no perfil modal com 0,58 m m⁻³ diminuindo em profundidade. Entretanto, Kiehl (1979) reporta que um solo em condições

ideais deve apresentar 50% de porosidade total e está formada por 1/3 de macroporos e os 2/3 restantes por microporos, estabelecendo uma relação macro e microporosidade igual a $0,5 \text{ m}^3$. Estudiosos no assunto como Duran (1991), Reichert et al. (1992) argumentam que isso pode ser explicado, em parte, pela presença de argilomineral com característica expansiva, uma vez que a expansão da argila reduz a porosidade total e o diâmetro médio de poros, de tal forma que, os poros não capilares se transformam em capilares e poros capilares podem ser completamente obstruídos, além de favorecer a formação de um microrrelevo denominado “gilgai” (Figura 4.2). Notadamente a presença dos argilominerais do tipo montmorilonita e illita de grade 2:1 que constituem os Vertissolos das “Várzeas de Sousa” encontrados em estudos realizados pelos pesquisadores acima citados corroboram com esta explicação. Dessa forma, a porosidade pode ser evidenciada como um bom indicador de manejo do solo por está intimamente relacionada à composição granulométrica e teor de carbono orgânico do solo influenciando o desenvolvimento do sistema radicular, a capacidade de aeração, percolação da água e aumento da compactidade (ALVES et al., 2011).



Figura 4.2. Microrrelevo “gilgai” decorrente da presença de argilominerais do tipo montmorilonita e illita de grade 2:1. Coordenadas $06^{\circ} 47' 19,17''$ S e $38^{\circ} 09' 21,78''$ W.

4.2. Resistência à penetração

Observa-se na Tabela 4.1, que ocorreu uma pequena diferença para os valores de resistência à penetração exercida em cada sistema de manejo e profundidades estudadas. Para o SMO e SMCa o valores médios da amostragem transitaram de 0,129 a 0,224 Mpa para as camadas superficiais de 0-20 cm; de 1,159 a 0,626 Mpa para as camadas subsuperficiais de 20-40 cm, e de 1,576 a 0,859 Mpa para as camadas de 40-60 cm o que pode-se considerar uma correlação de equilíbrio entre os dois sistemas de manejo, por apresentarem níveis

toleráveis de resistência à penetração (Figura 4.3). Observa-se, também, no sistema de manejo orgânico (SMO) que esses valores se encontram bem correlacionados aos valores de DS; RP e PT, diminuindo ou aumentando em profundidades, ou seja, para DS ($1,16 \text{ g cm}^{-3} < 1,18 \text{ g cm}^{-3} < 1,21 \text{ g cm}^{-3}$); RP ($0,129 \text{ Mpa} < 1,159 \text{ Mpa} < 1,576 \text{ Mpa}$) e PT ($0,54 \text{ m m}^{-3} > 0,52 \text{ m m}^{-3} > 0,51 \text{ m m}^{-3}$), respectivamente. Esta correlação entre os atributos densidade do solo, porosidade total, resistência à penetração e profundidades para os sistemas estudados, retrata a possível tendência à compactação destes solos, sinalizando que o SMO para os Vertissolos, seja talvez, a melhor alternativa de uso, uma vez que se manteve correlacionado ao sistema de manejo natural da caatinga (SMCa).

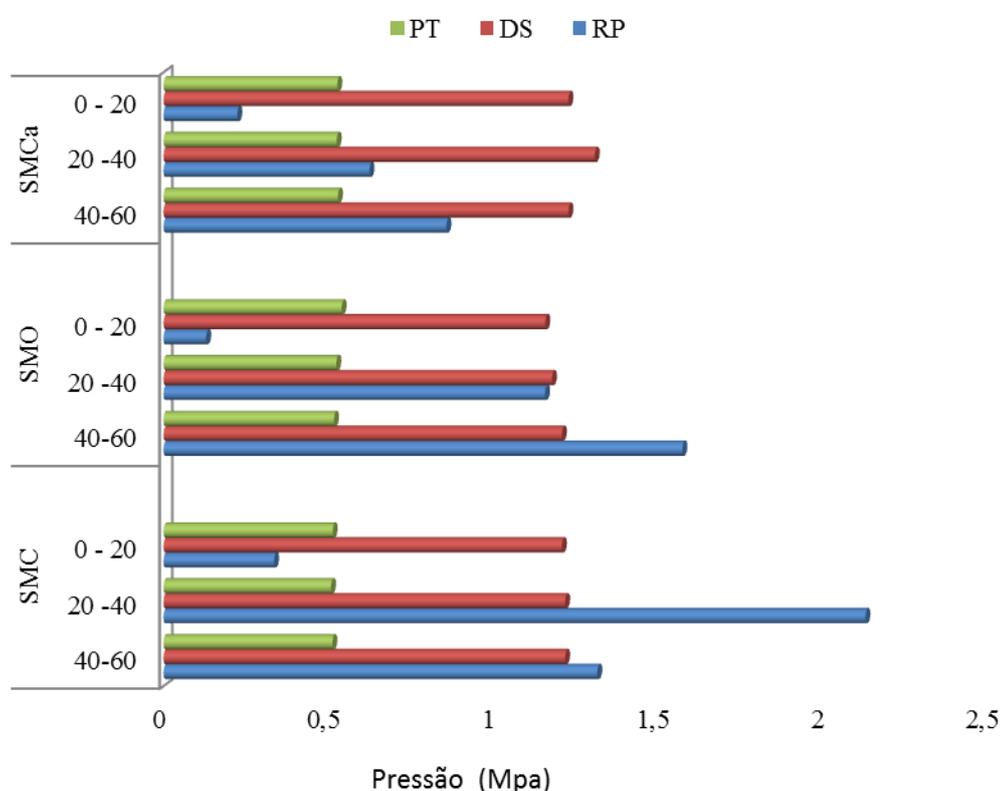


Figura 4.3. Resistência à penetração para os três sistemas de manejo e três profundidades.

O (SMC), comportou-se como era de se esperar com valores médios diferentes ($0,336 \text{ Mpa} < 2,132 \text{ Mpa} > 1,318 \text{ Mpa}$) para as três profundidades. O valor da camada superficial, explica-se que, embora o sistema de manejo convencional ocorra o tráfego de máquinas para aração, gradagens, pulverizações e passagens do pivô central por ocasião da irrigação, para o período trabalhado, a prática da incorporação ao solo dos restos culturais após cada colheita, (sorgo; milho; algodão) (Figura 4.4), seja o possível fator atenuante ao efeito da compactação nas camadas superficiais do solo. Observa-se que a camada de 20 - 40 cm, já se encontra comprometida com valores na faixa de 2,132 Mpa, atribuindo-se a pressão da camada

superficial sobre as camadas adjacentes. Esses valores sinalizam uma situação de degradação estrutural na área de estudo, principalmente, por tratar-se de solos vertissolos que por si só (classe textural muito argilosa com argilas de grade 2:1), já apresentam atributos físicos de difícil manejo. Condições semelhantes foram encontradas por Souza et al. (2003) e Azevedo (2004) que obtiveram em uma área sob pastagem os maiores valores de (RP) do solo, quando comparados ao manejo do solo como preparo convencional e preparo mínimo. Para Beutler et al. (2003), ainda não existe um consenso sobre o valor que pode ser considerado crítico ao crescimento radicular, no entanto, valores acima de 2,5 Mpa apresentam forte impedimento ao crescimento radicular, além de dificultar a percolação da água no solo.



Figura 4.4. Incorporação de restos culturais de milho ao solo - lote 07. Coordenadas 06° 46' 58,0'' S e 38° 08' 57,2'' W.

Reporta-se que não foi possível fazer uma correlação desses valores com o perfil modal descrito nesses solos há treze anos, com cobertura sob vegetação de caatinga densa, em razão de não termos aplicado na época testes de resistência à penetração, ressalta-se, que nessas condições os valores de DS e PT foram melhores, variando em profundidade de 1,09 a 1,12 g cm⁻³ e de 0,58 a 0,57 m m⁻³, respectivamente.

Tabela 4.2. Atributos físicos (hídricos) e salinidade dos Vertissolos para os sistemas de manejo convencional (SMC), sistema de manejo orgânico (SMO) e sistema de manejo caatinga (SMCa) nas três profundidades estudadas.

Sistema de Manejo	Profundidade	Variáveis					RAS
		Umidade 1/3 atm	Umidade 15 atm	Água disponível	Umidade natural	CE do extrato mmhos/cm a 25 °C	
SMC	0 – 20	0,476 c	0,289 a	0,186 c	0,104 b	0,569 ab	2,249 b
	20 – 40	0,506 b	0,288 a	0,218 b	0,104 b	0,451 ab	3,652 a
	40 – 60	0,535 a	0,290 a	0,245 a	0,110 a	0,591 a	3,852 a
SMO	0 – 20	0,416 b	0,273 a	0,143 b	0,097 a	0,365 a	2,005 a
	20 – 40	0,420 b	0,256 ab	0,155 b	0,102 a	0,309 a	2,429 a
	40 – 60	0,468 a	0,261 ab	0,195 a	0,101 a	0,491 a	2,929 a
SMCa	0 – 20	0,324 b	0,227 b	0,097 b	0,037 b	0,230 ab	0,825 c
	20 – 40	0,324 b	0,224 b	0,100 b	0,042 b	0,160 b	1,520 bc
	40 – 60	0,328 b	0,231 b	0,094 b	0,041 b	0,234 ab	2,384 ab

DMS

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, considerando o mesmo sistema de manejo.

RAS= Relação de Adsorção de Sódio.

Na Tabela 4.2, observam-se os valores referentes à capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível no solo. Para o sistema de manejo convencional (SMC), o conteúdo de água do solo variou de 0,186 a 0,245 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, enquanto no sistema de manejo orgânico a água disponível apresentou pequena variação entre as camadas de 0,143 a 0,195 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, no sistema de manejo caatinga (SMCa), para as três profundidades estudadas esses valores permaneceram bem próximos 0,097 a 0,100 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. Este resultado, possivelmente, justifica-se em razão do sistema de irrigação adotado (pivô central rebocável com vazão máxima de 163 litros/segundo e com tempo de irrigação de nove horas diárias), para o sistema de manejo convencional e de gotejamento para o sistema de manejo orgânico (formado por dois gotejadores/planta com vazão de 2,0 litros/hora em função do tanque de evaporação classe A, instalado na área).

Observa-se que no sistema de manejo da caatinga (SMCa) os valores de água disponível se apresentaram um pouco abaixo, razão perfeitamente aceitável, em razão do solo permanecer sob condições naturais. Kohnke (1968), Jacobsen (1993), Kameyama & Miyamoto (2008), em estudos com solos de textura argilosa a muito argilosa encontraram que a amplitude da água disponível situa-se entre 0,15 a 0,20 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, corroborando com os valores encontrados para as três profundidades estudadas para o SMC (0,186; 0,218; 0,245 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$); para o SMO (0,143; 0,155; 0,195 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) e (0,097; 0,100; 0,094 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) para o SMCa. Resultados encontrados por Gonçalves et al. (2011), para solos de classe textural muito argilosa, dentro das mesmas profundidades estudadas, denotam que a disponibilidade de água

para esses solos é na ordem de $0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, o que corresponde a 1,0 mm de água por centímetro de profundidade de solo ($1,0 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-1} = 0,1 \text{ m} \cdot \text{m}^{-1}$). Sendo essa a faixa de valores de umidade, considerada entre a capacidade de campo e ponto de murcha, que apresenta maior importância para os objetivos agronômicos e para o manejo da água na agricultura. Assim, para os sistemas de manejo estudados observa-se mais de 1mm de água/cm de profundidade do solo, ou seja, no SMC tem-se 1,85; 2,18 e 2,44 mm de água/cm, e para o SMO tem-se 1,43; 1,55 e 1,19 mm de água/cm, respectivamente, para as três profundidades estudadas.

Ponderando-se que pelas características físicas destes solos com argilas expansivas (2:1) e ausência de um horizonte saprolítico que possa favorecer a drenagem (nestes solos a última camada é formada por argilitos e folhelhos), possivelmente, esse aumento do conteúdo de água em profundidade, constatado no SMC, seja, num futuro próximo um agravante para salinização e/ou sodificação, como já se evidencia sutil diferença, com aumentos em profundidade, entre os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação e relação de adsorção de sódio apresentados no SMC com relação aos outros sistemas, embora todos sejam considerados normais.

4.3 Atributos químicos

Na Tabela 4.3, observam-se os atributos químicos estudados para efeito de indicação da qualidade dos Vertissolos, onde os valores de pH variaram de moderadamente alcalino (7,47) no SMCa na camada superficial de (0-20 cm) e alcalino ($> 7,91$) para SMC e SMO, diferindo estatisticamente apenas para o sistema caatinga. No complexo sortivo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na, SB, Al^{3+} , H, $\text{T/Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), o cálcio por seus altos teores, apresentou-se como o principal contribuinte na soma de bases trocáveis (SB), seguido pelo magnésio, para as os três sistemas estudados, com maiores valores nas camadas de 0 - 20 cm no (SMC) e (SMO), respectivamente. Esses valores possivelmente espelham a natureza do material de origem (argilitos e arenitos calcíferos), chegando a ocupar em média, na profundidade dos 60 cm teores de 47; 43; e 32 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos (SMC); (SMO); (SMCa), respectivamente. Para a relação cálcio/magnésio, verificou-se pequena amplitude de resultados, com valores variando de 2,5 a 2,0 entre os sistemas.

Observa-se, ainda, que em todos os sistemas estudados a saturação de bases (S) é igual à capacidade de troca de cátions (T ou CTC), em razão da ausência de Al^{3+} e H nestes solos, induzindo a uma percentagem de saturação bases igual a 100%, para todos os sistemas de

manejo. Os altos valores de CTC, para os Vertissolos que possuem alto conteúdo de argila, encontram-se condizentes com as feições morfológicas dos solos, em que o intenso fendilhamento, a dureza e a estrutura mostram a participação expressiva de minerais de argilas 2:1, fato confirmado pela difratometria de raios-X e pelos dados da relação Ki (JOHNSON et al., 1962; CORRÊA, 2003). Esse alto valor, a luz dos manuais de interpretação de análise do solo, configura-se como solos de alta fertilidade, entretanto, não significam disponibilidade para as plantas. Em solos com reação alcalina ($\text{pH} > 7,4$) e com altos teores de cálcio, esse elemento encontra-se na forma de fosfatos policálcios (P-Ca), facilmente atacados pelo extrator Mehlich-1 não disponíveis na sua totalidade.

Tabela 4.3. Atributos químicos dos Vertissolos para os sistemas de manejo convencional (SMC), sistema de manejo orgânico (SMO) e sistema de manejo caatinga (SMCa) nas três profundidades estudadas.

SM	Pf.	Atributos														
		pH (1:2,5) água	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na	S	Al ³⁺	H	T	V	P	C org	N	MO	RCN
	 Cmol _c dm ⁻³ g dm ⁻³														
SMC	1	8,09 b	34,27 a	13,70 a	1,19 a	2,59 b	51,75 b	0,00 a	0,00 a	51,75 b	100 a	3,05 b	5,04 a	0,46 a	8,69 a	10,90 a
	2	8,34 a	31,74 b	15,23 a	0,72 b	4,67 b	52,37 b	0,00 a	0,00 a	52,37 b	100 a	2,86 b	3,23 b	0,34 b	6,81 b	9,50 a
	3	8,44 a	31,82 b	14,89 a	0,48 b	8,14 a	55,34 a	0,00 a	0,00 a	55,34 a	100 a	2,79 b	2,45 b	0,26 b	5,38 b	9,40 a
SMO	1	7,91 b	32,41 a	12,26 a	0,68 a	1,33 c	46,76 b	0,00 a	0,00 a	46,76 b	100 a	4,82 a	7,58 a	0,73 a	13,06 a	10,38 b
	2	8,35 a	31,13 a	12,64 a	0,45 a	3,79 b	47,99 ab	0,00 a	0,00 a	47,99 ab	100 a	3,98 b	3,89 b	0,34 b	6,69 b	11,44 ab
	3	8,51 a	29,28 b	11,80 a	0,44 a	7,37 a	49,37 a	0,00 a	0,00 a	49,37 a	100 a	3,92 b	2,71 c	0,23 b	4,66 c	11,78 a
SMCa	1	7,47 c	20,43 b	9,79 b	0,72 a	0,43 c	31,86 c	0,00 a	0,00 a	31,86 c	100 a	4,63 a	5,05 a	0,45 a	8,69 a	11,22 a
	2	7,96 b	22,11 b	10,72 b	0,49 a	1,40 c	34,78 b	0,00 a	0,00 a	34,78 b	100 a	4,74 a	2,61 b	0,26 b	4,13 b	10,04 a
	3	8,33 a	21,46 b	10,70 b	0,43 a	2,62 ab	35,33 b	0,00 a	0,00 a	35,33 b	100 a	4,98 a	1,98 b	0,18 b	3,39 b	11,00 a

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, considerando o mesmo fator.

Profundidades: Pf: 1=(0-20), 2=(20-40), 3=(40-60); P= fósforo assimilável; S= Saturação de bases; T= Capacidade de Troca de cátions; C.org= carbono orgânico; RCN= Relação Carbono Nitrogênio; CE=condutividade elétrica do extrato mmhos/cm a 25 °C.

Observam-se baixos valores para o fósforo (P) para os três sistemas de manejo, embora os teores encontrados para a camada de 0-10 no SMO seja maior que no SMC. No SMCa os teores de P se mantiveram maiores aumentando em profundidade de 4,63 a 4,98 mg dm⁻³. Silveira et al. (2006), estudando a distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semiárido da Paraíba e de Pernambuco, relata que os Vertissolos parecem ter pouco P retirado com os extratores mais fracos (resina e bicarbonato de Na), mas muito retirado com extratores mais fortes (hidróxido de Na e ácido sulfúrico). Araújo et al. (2004a) lembraram que faltam dados para saber se este P está disponível para as culturas, mas sabe-se que parte do P destas frações é deslocada para as frações mais lábeis, quando estas são retiradas e isto pode justificar seu uso agrícola continuado na região.

Quando se compara esses valores com perfil modal observa-se que os valores encontrados para o complexo sortivo guardam entre si, uma relação de semelhança com relação aos altos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , bases permutáveis (valor S) capacidade de troca catiônica (valor T), ausência de Al^{3+} , H e saturação de bases (V%) igual a 100%. Entretanto, apresentam altos teores de P aumentando em profundidade que variam de 25 a 63 mg dm^{-3} . Carneiro et al. (2009) estudando o efeito dos sistemas de manejo convencional, plantio direto e pasto sobre o carbono orgânico total e residual de um Latossolo Vermelho com teores de argila de 660 g kg^{-1} , atribui os maiores teores de P a ciclagem de nutrientes, principalmente, nos solos com cobertura vegetal de mata quando comparados a outros sistemas de cultivos. Falleiro et al. (2003); Costa et al. (2006) reportam que a mudança da vegetação natural para sistemas de exploração agropecuária provocam alterações profundas nos atributos do solo, evidenciando que o maior teor de nutrientes pode estar associado ao não revolvimento do solo, à manutenção de cobertura de resíduos de culturas sobre o solo e a ciclagem de nutrientes pelas plantas.

Quanto ao potássio (K) observa-se teores significativamente altos na camada de 0-20 cm para os três sistemas, destacando o SMC com 1,19 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, seguido do SMCa com 0,72 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e do SMO com 0,68 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, camadas subsequentes dos sistemas estudados se mantiveram altas, com valores variando de 0,72 a 0,43 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, entretanto, os SMO e SMCa não diferem ao nível de 5% de probabilidade. Para Barreto et al. (2008) é possível que os valores tão altos desse elemento estejam associados ao aporte de resíduos vegetais, que promovam incremento na CTC favorecendo a retenção deste nutriente, o que justifica os elevados teores encontrados no SMC estudado, que também adota a prática da incorporação dos restos culturais ao solo.

Os teores de carbono orgânico (CO) para os três sistemas são considerados baixos, entretanto, o SMO para a camada 0 – 20 cm, apresentou maior teor com 7,58 g dm^{-3} , o que se atribui possivelmente a não mobilização da matéria orgânica do solo, a constante ciclagem do material das camadas superficiais do solo (0-20 cm), destacando-se o SMO com 13,06 g dm^{-3} , é interessante observar que tanto o SMC quanto o SMCa apresentaram teores de matéria orgânica iguais 8,68 g dm^{-3} , na camada superficial, justificado pela incorporação de restos culturais após a colheita no sistema convencional, e na caatinga a própria ciclagem dos restos da vegetação natural. Para os três sistemas de manejo como era de se esperar, esses valores diminuíram com a profundidade variando de 3,39 a 5,38 g dm^{-3} , embora ainda sejam considerados teores médios.

A relação carbono/nitrogênio, considerado parâmetro importante por está relacionado ao processo biológico de fermentação dos resíduos vegetais. Observa-se que essa relação para os três sistemas de manejo situa-se entre 9,40 a 11,78 g dm⁻³, sendo menor que a faixa ótima considerada que é de 20 a 30 partes de carbono para uma de nitrogênio. Nunes et al. (2011), estudando sistemas de manejo e estoques de carbono, reforçam os resultados acima apresentados, enfatizando que quanto menor a mobilização e maior a manutenção dos resíduos vegetais sob o solo, maior será o teor de matéria orgânica e conseqüentemente o carbono residual. Corroborando com esses resultados Cavenage et al. (1999), Araújo et al. (2007) e Cremon et al. (2011), em estudos sobre qualidades dos atributos físicos do solo submetidos a diferentes sistemas de manejo, são unânimes a afirmar que os sistemas de uso do solo ocasionam alterações consideráveis nos teores de carbono orgânico e matéria orgânica do solo, principalmente, para o sistema convencional, que na maioria dos casos são baixos, devido ao menor teor de resíduos culturais e revolvimento destes, ocasionando rápida oxidação da matéria orgânica. Exatamente como se percebe nos sistemas de manejo estudados.

Esses valores quando comparados aos teores de carbono orgânico e matéria orgânica do perfil modal observa-se grande coerência com os resultados atuais encontrados, ou seja, teores de Carbono orgânico baixo 4,8 g dm⁻³, para a camada superficial, diminuindo em profundidade, e teores de matéria orgânica alta para a camada superficial e médio a baixo para as camadas subsequentes 4,1 e 1,5 g dm⁻³, respectivamente. A relação carbono/nitrogênio manteve-se também no mesmo padrão entre 9 a 12 g dm⁻³. Portanto, essa coerência obtida para os teores de carbono orgânico, matéria orgânica e relação carbono/nitrogênio para os quatro anos de cultivo, em diferentes sistemas de manejo e as condições naturais do solo sob caatinga há aproximadamente treze anos, sinalizam que as condições climáticas naturais são mais determinantes na formação desses teores que os sistemas de manejo trabalhados.

4.4. Características ambientais e ocorrência da vegetação

Com relação os atributos ambientais, as observações se reportaram apenas a alguns questionamentos feitos aos produtores da área, e a avaliação visual de alguns indicadores vegetais, quando da avaliação morfológica do solo por ocasião da coleta de amostras nas três profundidades. Foram identificadas presença de galerias, térmitas e cropólitos nas camadas superficiais de algumas minitrincheiras coletadas, apenas, no sistema de manejo orgânico

(SMO) (Figura 4.5). Porém, nada expressivo que merecesse quantificar, conforme foi relatado por alguns produtores.



Figura 4.5. Presença de minhocas na camada superficial do solo, evidências de galerias e cropólitos, lote 06. Coordenadas 06° 49' 19,39'' S e 38° 08' 44,35'' W, altitude 217 m.

Merece citar, o tipo de vegetação natural, presente nos três sistemas de manejo estudados, vulgarmente denominadas de ervas daninhas, as quais podem ser um bom indicativo das condições atuais do solo. No sistema de manejo convencional foi identificada a presença de *Aristida pallens* Cav. (barba de bode); *Sida cordifolia* L. (malva branca), *Acanthospermum hispidum* DC (carrapicho de carneiro) e *Cyperus ferax* L. (Capim de cheiro), Araújo Filho e Carvalho (1996), Santos et al. (1992); Sampaio et al. (2002), ressaltam que a malva branca é um dos indicadores mais importantes até agora identificados e que suas populações tendem a aumentar nas fases iniciais do processo de degradação (Figura 4.6) Cardoso et al. (2009), analisando os atributos ambientais de indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa, concluíram que a substituição da floresta nativa por pastagem cultivada reduz os teores de carbono orgânico total e carbono microbiano, bem como, eleva a respiração basal, tornando o solos mais compactado e vulnerável a degradação.

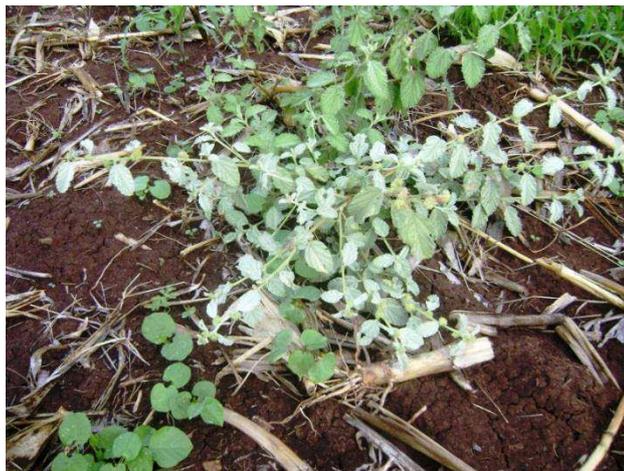


Figura 4.6. Malva Branca indicadora de solos em processo de degradação, lote 07. Coordenadas 06° 47' 24,2'' S e 38° 08' 57,6'' W.

No sistema de manejo orgânico destacaram-se algumas leguminosas como a *Clitoria ternatea* L. (ervilha borboleta) e *Desmanthus virgatus* L. (jureminha), dando margem a correlação com os teores de matéria orgânica, carbono orgânico, e nitrogênio encontrado nesse sistema de manejo em relação aos teores encontrados no sistema convencional e da caatinga. Esses teores já foram discutidos no tópico atributos físicos (Figura 4.7).



Figura 4.7. Plantas leguminosas presentes no lote 06: A) Jureminha e B) ervilha borboleta. Coordenadas 06° 47' 47,01'' S e 38° 07' 53,9'' W.

No sistema de manejo da caatinga (LE 13) encontram-se, ainda, indivíduos arbóreos de ocorrência esparsa, como a catingueira, angico, juazeiro e pereiro (Figura 4.8). Observaram-se modificações da fisionomia dessa vegetação atual quando comparadas aos remanescentes da vegetação dos estudos realizados na área por ocasião do levantamento pedológico dos solos no início da implantação do projeto SEMARH/EMEPA (1998).



Figuras 4.8. Espécies arbóreas de ocorrência esparsa presentes no lote 13; A) Catingueira; B) Pereiro. Coordenadas: 06° 46' 37,4'' S e 38° 11' 12,1'' W e 06° 46' 47,8'' S e 38° 11' 06,3'' W. (foto tirada no início das chuvas, Dezembro, 2011).

Associadas a essas espécies encontra-se no estrato arbustivo e herbáceo o *Combretum leprosum* Mart. (mofumbo) *Croton hemiargyreus* Muell. Arg. (marmeleiro), *Cassia serisia* L., (mata pasto), *Mimosa acustistipula* Mart (jurema preta), *Hyptis suaveolens* L., (alfazema brava), *Sida cordifolia* L. (malva-branca), jitiranas (*Ipomoea* sp.) e cactáceas como a *Tacinga inamoena* L. (quipá ou palmatorinha), típicas de solos de textura pesada e degradados. Algumas dessas espécies herbáceas foram registradas por ocasião do período chuvoso. Corroborando Galindo et al. (2008), em estudos sobre a relação solos e vegetação associa-se a presença de plantas mais altas e a maior densidade de arbustos aos solos com maiores conteúdos de argila em subsuperfície e cascalhentos, por assegurar maior conteúdo de água no perfil, favorecendo ao aumento dos teores de carbono orgânico, provavelmente, pelo maior aporte de serrapilheira nas áreas mais densamente vegetadas. Golley et al. (1978) e Maman, et al. (2007) num estudo sobre ciclagem de nutrientes, produção de serrapilheira e de decomposição foliar reportam que em florestas tropicais sazonais semidecíduas, onde a precipitação pluvial não é regular ao longo do ano, uma estratégia evolutiva selecionada naturalmente na vegetação é perder as folhas pouco antes do início do período da chuva, o que acarreta um aumento substancial de restos vegetais com aumento da umidade fator propício para a proliferação de organismos decompositores. Essa dinâmica da serrapilheira é de extrema importância, pois ela é a responsável pela restauração física, química e biológica da qualidade do solo. Relatam, ainda, que a presença das espécies de pereiro e catingueira ocorreram com frequência nos ambientes conservados a moderadamente degradados.

Estudos semelhantes foram encontrados por Andrade et al. (2005), analisando a cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri – PB, verificaram que as três espécies que apresentaram densidade

relativa no ambiente em melhor estado de conservação, e maior aporte de resíduos vegetais melhorando as características biológicas do solo foram o marmeleiro (39,3%), a catingueira (30,2%) e o pereiro (15,0%), em razão dos maiores teores matéria orgânica encontrados.

4.5. Análise de variância para os atributos estudados

Na análise de variância para os atributos físicos do solo constataram-se efeito significativo de sistema de manejo sobre os indicadores: Areia, argila, relação silte/argila (rsa), densidade do solo (D. solo), densidade da partícula (D. partícula), resistência a penetração (RP), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), no entanto não se constatando efeito sobre o indicador silte. A profundidade exerceu efeito significativo ($P \leq 0,01$), apenas sobre RP, Pt, Ma e Mi. Para os atributos físicos do solo, houve efeito da interação sistema de manejo x profundidade apenas para RP a ($P \leq 0,01$) (Tabela 4.4).

Tabela 4.4. Análise de variância para os atributos físicos do solo.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios									
		Areia	Silte	Argila	RSA	D. solo	D. part.	RP	Pt	Ma	Mi
Sistema de manejo = SM	2	444370,44**	1472,53 ^{NS}	424508,22**	0,094**	0,029*	0,062**	2886,93**	0,0028**	0,00000823**	0,00186487**
Resíduo (a)	21	5968,59	1601,91	7361,45	0,008	0,007	0,038	207,11	0,0002	0,00000098	0,00022188
Profundidade = p	(2)	134,06 ^{NS}	520,35 ^{NS}	779,51 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,008 ^{NS}	0,001 ^{NS}	8809,71**	0,0004*	0,00000178*	0,00040442*
Interação S x P	(4)	301,30 ^{NS}	556,32 ^{NS}	470,68 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,007 ^{NS}	0,002 ^{NS}	1460,21**	0,0003 ^{NS}	0,00000131 ^{NS}	0,00029783 ^{NS}
Profundidade d. SMC	2	245,64 ^{NS}	387,50 ^{NS}	462,55 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	6471,11**	0,0001 ^{NS}	0,00000017 ^{NS}	0,00003958 ^{NS}
Profundidade d. SMO	2	180,75 ^{NS}	1007,49 ^{NS}	403,66 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,006 ^{NS}	0,001 ^{NS}	4433,64**	0,0011**	0,00000415**	0,00094148**
Profundidade d. SMCa	2	310,27 ^{NS}	238,01 ^{NS}	854,66 ^{NS}	0,003 ^{NS}	0,016 ^{NS}	0,001 ^{NS}	825,37*	0,00002 ^{NS}	0,00000008 ^{NS}	0,00001901 ^{NS}
Resíduo (b)	42	420,72	485,83	738,51	0,003	0,007	0,001	216,79	0,0001	0,00000053	0,00012010
CV% (a)		30,41	26,76	14,34	36,24	7,17	7,70	49,00	3,05	0,30	3,04
CV% (b)		8,07	14,73	4,51	20,58	6,94	1,46	50,13	2,23	2,2337	2,2337
Média		254,02	149,58	598,41	0,26	1,22	2,54	928,85	0,52	0,33	0,49

0,001Mpa (Megapascals) = 1 Kpa (Kilopascal)

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

NS Não significativo

Para a variável RP o coeficiente de variação foi alto em razão da variabilidade das leituras tomadas a cada 0,5 cm, por meio do medidor eletrônico de compactação do solo (PGL1020) até uma profundidade de 0,60 cm.

De acordo com as Tabelas 4.5 e 4.6, os resultados da análise de variância para os atributos químicos e hídricos do solo constataram-se efeito significativo de sistema de manejo (SM) a ($P \leq 0,01$), sobre os indicadores: pH, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , saturação de bases (Valor S), capacidade de troca de cátions (Valor T), fósforo assimilável (P), carbono orgânico (C.org.), matéria orgânica (MO), umidade 1/3 e 15 atm, água disponível, CE e RAS. O nitrogênio (N) foi significativo a ($P \leq 0,05$). Enquanto a profundidade exerceu efeito significativo a ($P \leq 0,05$) sobre Ca^{++} , K^+ , RCN e umidade natural. Entretanto, houve efeito da interação no sistema

de manejo x profundidade para o Ca⁺⁺, N, MO e água disponível (P ≤ 0,01) e a (P ≤ 0,05) para o C. org e umidade 1/3 atm. Neste caso, estudou-se o efeito de profundidade dentro de cada sistema de manejo, convencional (SMC), orgânico (SMO) e da Caatinga (SMCa) sobre o Ca⁺⁺, C. org, N, MO, RP, umidade 1/3 atm e água disponível.

Tabela 4.5. Análise de variância para os atributos químicos do solo.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios											
		pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Valor T	P assimilável	C.org	N	MO	RCN
Sistema de manejo = SM	2	1,02**	888,91**	106,69**	0,56 ^{NS}	85,95**	2362,43**	2362,43**	22,55**	14,98**	0,11*	45,25**	3,50 ^{NS}
Resíduo (a)	21	0,08	32,36	18,14	0,85	15,48	44,05	44,05	6,27	2,0	0,03	7,02	4,43
Profundidade = p	(2)	2,25**	13,84*	5,41 ^{NS}	1,09*	128,29**	62,26**	62,26**	0,67 ^{NS}	80,18**	0,67**	209,43**	16,52*
Interação S x P	(4)	0,14 ^{NS}	14,15**	1,70 ^{NS}	0,13 ^{NS}	8,95 ^{NS}	4,28 ^{NS}	4,28 ^{NS}	0,86 ^{NS}	3,24*	0,06**	16,15**	3,67 ^{NS}
Profundidade d. SMC	2	0,25*	16,52*	5,15 ^{NS}	1,03*	62,89**	29,37**	29,37**	0,15 ^{NS}	14,09**	0,08**	22,07**	7,79 ^{NS}
Profundidade d. SMO	2	0,78**	19,85**	1,43 ^{NS}	0,14 ^{NS}	73,59**	13,62 ^{NS}	13,62 ^{NS}	1,99**	51,49**	0,55**	153,74**	13,71*
Profundidade d. SMCa	2	1,50**	5,77 ^{NS}	2,23 ^{NS}	0,18 ^{NS}	9,711 ^{NS}	27,84*	27,84*	0,25 ^{NS}	21,07**	0,16**	65,93**	2,37 ^{NS}
Resíduo (b)	42	0,05	3,66	2,70	0,23	5,22	5,56	5,56	0,34	1,22	0,01	3,83	3,96
CV% (a)		3,40	20,10	34,31	149,06	109,60	14,73	14,73	63,09	37,01	45,81	39,96	18,01
CV% (b)		2,87	6,76	13,24	77,76	63,56	5,23	5,23	14,77	28,83	33,96	28,63	17,01
Média		8,15	28,29	12,42	0,62	3,59	45,06	45,06	3,97	3,84	0,36	6,63	11,69

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% probabilidade

NS Não significativo

Tabela 4.6. Análise de variância para os atributos hídricos e de salinidade do solo.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios					
		Umidade 1/3 atm	Umidade 15 atm	Água disponível	Umidade natural	CE do extrato mmhos/cm a 25°C	RAS
Sistema de Manejo = SM	2	1965,56**	234,07**	858,14**	320,34**	0,65**	16,85**
Resíduo (a)	21	44,31	29,01	28,59	1,69	0,17	3,14
Profundidade = p	2	93,94**	0,85 ^{NS}	76,59**	1,31*	0,11 ^{NS}	11,34**
Interação S x P	4	22,15*	1,52 ^{NS}	26,17**	0,44 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,68 ^{NS}
Profundidade d. SMC	2	70,95**	0,12 ^{NS}	69,49**	1,08 ^{NS}	0,05 ^{NS}	6,11**
Profundidade d. SMO	2	66,83*	2,88 ^{NS}	58,61**	0,48 ^{NS}	0,07 ^{NS}	1,71 ^{NS}
Profundidade d. SMCa	2	0,46 ^{NS}	0,89 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,64 ^{NS}	0,01 ^{NS}	4,88*
Resíduo (b)	42	6,17	1,62	5,22	0,38	0,09	1,13
CV (a)		15,77	20,61	33,57	15,82	110,28	72,90
CV (b)		5,88	4,87	14,34	7,46	78,58	43,80
Média		42,22	26,13	15,93	8,22	0,38	2,43

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F

* Significativo a 5% probabilidade

Em função da análise de variância são apresentados os desdobramentos referentes ao efeito da interação sistemas de manejo x profundidade nas Tabelas 4.7 a 4.13 para os atributos Resistência a Penetração, Carbono Orgânico, Nitrogênio, Matéria Orgânica, Ca²⁺, Capacidade de Campo a 1/3 atm e Água Disponível.

Tabela 4.7. Média do atributo físico resistência a penetração para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.

Profundidade (cm)	Sistemas de Manejo		
	Convencional	Orgânico	Caatinga
0 - 20	0,336 b	0,129 b	0,224 b
20 - 40	2,132 a	1,159 b	0,626 a
40 - 60	1,318 b	1,576 a	0,859 a

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, considerando o mesmo fator.

No sistema convencional a melhor média ocorreu para a profundidade de 0 - 20 cm, diferindo significativamente dos valores das profundidades de 20 – 40 cm, uma vez que valores acima de 2,0 MPa são considerados críticos por apresentarem forte impedimento ao crescimento radicular, além de dificultar a percolação da água no solo conforme estudos apresentados por Beutler et al. (2003). Para o sistema de manejo orgânico e sistema de manejo da caatinga as melhores médias situaram-se também na profundidade de 0 - 20 cm, como era de se esperar em razão da menor pressão sobre o solo devido ao aporte de cobertura vegetal e resíduos orgânicos incorporados ao solo, permitindo uma melhor estruturação. Observa-se que para estes sistemas de manejo as profundidades subsequentes (20-40; 40-60 cm) não apresentam valores de resistência à penetração preocupante (Tabela 4.7).

Para efeito da interação com carbono orgânico observa-se a melhor média a profundidade de 0 – 20 cm para o sistema de manejo orgânico, seguidas do sistema de manejo da caatinga e sistema de manejo convencional, não diferindo estatisticamente. Para todos os sistemas de manejo estudados o carbono orgânico diminui à medida que aumenta a profundidade (Tabela 4.8).

Tabela 4.8. Média do atributo químico carbono orgânico para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.

Profundidade (cm)	Sistemas de Manejo		
	Convencional	Orgânico	Caatinga
0 - 20	5,04 a	7,58 a	5,05 a
20 - 40	3,23 b	3,89 b	2,61 b
40 - 60	2,45 b	2,71 c	1,98 b

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, considerando o mesmo fator.

O atributo químico Nitrogênio é influenciado pelo conteúdo de matéria orgânica do solo, portanto, as melhores médias na Tabela 4.9, encontram-se no sistema de orgânico seguido do sistema de manejo convencional e Sistema de Manejo da Caatinga não diferindo estatisticamente para as profundidades de 0 – 20 cm e de 20 a 60 cm.

Tabela 4.9. Média do atributo químico nitrogênio para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.

Profundidade (cm)	Sistemas de Manejo		
	Convencional	Orgânico	Caatinga
0 - 20	0,46 a	0,72 a	0,45 a
20 - 40	0,34 b	0,34 b	0,26 b
40 - 60	0,26 b	0,23 b	0,18 b

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, considerando o mesmo fator.

Para efeito da interação matéria orgânica Tabela 4.10, observa-se comportamento similar ao da interação com o nitrogênio, considerando-se também as melhores médias para o sistema de manejo orgânico, seguidas do sistema de manejo da caatinga e sistema de manejo convencional para a profundidade de 0 - 20 cm. Em todos os sistemas de manejo estudados os teores de matéria orgânica decrescem à medida que aumenta a profundidade.

Tabela 4.10. Média do atributo químico matéria orgânica para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.

Profundidade (cm)	Sistemas de Manejo		
	Convencional	Orgânico	Caatinga
0 - 20	8,69 a	13,06 a	8,69 a
20 - 40	6,81 b	6,69 b	4,13 b
40 - 60	5,38 b	4,66 c	3,39 b

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, considerando o mesmo fator.

Para a interação Ca^{2+} Tabela 4.11, observa-se uma semelhança entre as médias dos sistemas de manejo convencional e sistema de manejo orgânico, não diferindo estatisticamente para a profundidade de 0 - 20 cm. Considerando-se as melhores médias encontradas para o sistema de manejo da caatinga, uma vez que menores conteúdos de Ca^{2+} nos Vertissolos contribui sensivelmente no pH do solo diminuindo sua alcalinidade. Portanto, estes solos sob sistema de manejo da caatinga, apresentam melhores médias para os teores de Ca^{2+} , não diferindo estatisticamente para as três profundidades estudadas.

Tabela 4.11. Média do atributo químico Ca^{2+} para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.

Profundidade (cm)	Sistemas de Manejo		
	Convencional	Orgânico	Caatinga
0 - 20	34,27 a	32,41 a	20,43 b
20 - 40	31,74 b	31,13 a	22,11 b
40 - 60	31,82 b	29,28 b	21,46 b

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, considerando o mesmo fator.

Para efeito da interação água disponível e capacidade de campo (Tabelas 4.12 e 4.13) respectivamente, observa-se comportamento similar para os três sistemas de manejo uma vez que a água disponível é diretamente proporcional ao conteúdo de umidade a 1/3 de atm. Entretanto, o sistema de manejo da caatinga não difere estatisticamente para as três profundidades do solo, em razão da uniformidade do conteúdo de água natural presente no solo.

Tabela 4.12. Média do atributo hídrico capacidade de campo a 1/3 atm para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.

Profundidade (cm)	Sistemas de Manejo		
	Convencional	Orgânico	Caatinga
0 - 20	47,654 c	41,613 b	32,478 b
20 - 40	50,634 b	42,050 b	32,460 b
40 - 60	53,519 a	46,825 a	32,884 b

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, considerando o mesmo fator.

Tabela 4.13. Média do atributo hídrico água disponível para o efeito da interação sistema de manejo profundidade.

Profundidade (cm)	Sistemas de Manejo		
	Convencional	Orgânico	Caatinga
0 - 20	18,599 c	14,316 b	9,740 b
20 - 40	21,834 b	15,515 b	10,019 b
40 - 60	24,484 a	19,488 a	9,378 b

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade, considerando o mesmo fator.

4.6. Coeficiente de correlação de Pearson para os atributos físicos do solo

Os valores das correlações entre as propriedades físicas do solo estão apresentados nas Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16 para os Sistemas de Manejo Convencional, Orgânico e da Caatinga, respectivamente. Observa-se na Tabela 4.14, uma relação significativa negativa e direta para as três profundidades no Sistema de Manejo Convencional para os atributos silte x argila e significativa e positiva para silte x densidade do solo para as profundidades de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm ao nível de ($P \leq 0,05$) de probabilidade. Igualmente observa-se uma correlação negativa e significativa direta entre Ds x Pt, Ma e Mi ao nível de ($P \leq 0,01$) de probabilidade. Entretanto a porosidade total apresenta uma correlação positiva e significativa ao nível de ($P \leq 0,01$) para Pt x Ma e Mi. Essa tendência manteve-se de forma semelhante para o sistema de manejo orgânico e sistema de manejo da caatinga, demonstrando que a porosidade total é influenciada pelo conteúdo de argila e densidade do solo e estes atributos são afetados diretamente pelo tipo de manejo aplicado no solo.

Tabela 4.14. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos físicos de um Vertissolo submetido ao sistema de manejo convencional.

Profundidade de 0-20 cm								
Indicadores	Silte	Argila	Dp	Ds	Pt	Ma	Mi	RP
Areia	0,017	-0,687	0,364	0,021	0,211	0,211	0,211	0,510
silte		-0,604*	0,796	0,658*	-0,420	-0,420	-0,420	-0,672
Argila			-0,717	-0,513	0,218	0,218	0,218	-0,015
Dp				0,705	-0,374	-0,374	-0,374	-0,378
Ds					-0,907**	-0,907**	-0,907**	-0,126
Pt						1,000**	1,000**	-0,024**
Ma							1,000**	-0,024
Mi								-0,024
Profundidade de 20-40 cm								
Indicadores	Silte	Argila	Dp	Ds	Pt	Ma	Mi	RP
Areia	-0,109	-0,669	0,805	0,349	0,054	0,054	0,054	-0,101
silte		-0,665*	0,136	0,586*	-0,702	-0,702	-0,702	-0,131
Argila			-0,707	-0,700	0,484	0,484	0,484	0,174
Dp				0,693	-0,251	-0,251	-0,251	-0,458
Ds					-0,866**	-0,866**	-0,866**	-0,543
Pt						1,000**	1,000**	0,376
Ma							1,000**	0,376
Mi								0,376
Profundidade de 40-60 cm								
Indicadores	Silte	Argila	Dp	Ds	Pt	Ma	Mi	RP
Areia	0,066	-0,661	0,498	0,685	-0,393	-0,393	-0,393	-0,285
silte		-0,792*	0,086	0,524	-0,478	-0,478	-0,478	0,567
Argila			-0,369	-0,813*	0,599	0,559	0,559	-0,251
Dp				0,165	0,349	0,349	0,349	-0,032
Ds					-0,864**	-0,864**	-0,864**	0,111
Pt						1,000**	1,000**	-0,108
Ma							1,000**	-0,108
Mi								-0,108

Dp = densidade da partícula; Ds=densidade do solo; Pt= porosidade total; Ma= macroporosidade; Mi=microporosidade; RP=resistência à penetração.

* =Significativo ($P < 0,05$), ** =Significativo ($P < 0,01$), ns = não significativo.

No Sistema de Manejo Orgânico Tabela 4.15, observa-se uma correlação significativa e negativa ($P \leq 0,01$) para o atributo Areia x argila para as três profundidades estudadas.

Tabela 4.15. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos físicos de um Vertissolo submetido ao sistema de manejo orgânico.

Sistema de Manejo Orgânico para a profundidade de 0-20 cm								
Indicadores	Silte	Argila	Dp	Ds	Pt	Ma	Mi	RP
Areia	0,302	-0,947**	0,710	-0,366	0,565	0,565	0,565	-0,304
silte		-0,592	0,246	-0,050	0,118	0,118	0,118	-0,114
Argila			0,683	0,327	-0,518	-0,518	-0,518	0,295
Dp				-0,544	0,773	0,773	0,773	-0,432
Ds					-0,945**	-0,945**	-0,945**	-0,383
Pt						1,000**	1,000**	0,107
Ma							1,000**	0,107
Mi								0,107
Sistema de Manejo Orgânico para a profundidade de 20-40 cm								
Indicadores	Silte	Argila	Dp	Ds	Pt	Ma	Mi	RP
Areia	0,603	-0,959**	0,368	0,666	0,688	0,688	0,688	-0,094
silte		-0,804*	-0,228	-0,021	0,056	0,056	0,056	0,678
Argila			-0,194	-0,489	-0,532	-0,532	-0,532	0,008
Dp				0,829*	0,900*	0,900*	0,900*	-0,357
Ds					0,928**	0,928**	0,928**	-0,416
Pt						1,000**	1,000**	-0,374
Ma							1,000**	-0,374
Mi								-0,374
Sistema de Manejo Orgânico para a profundidade de 40-60 cm								
Indicadores	Silte	Argila	Dp	Ds	Pt	Ma	Mi	RP
Areia	0,262	-0,900**	0,807	0,389	0,170	0,170	0,170	-0,248
silte		-0,655	0,011	-0,057	-0,031	-0,031	-0,031	-0,015
Argila			-0,636	-0,278	-0,120	-0,120	-0,120	0,201
Dp				0,490	0,166	0,166	0,166	0,085
Ds					-0,757	-0,757	-0,757	-0,420
Pt						1,000**	1,000**	0,381
Ma							1,000**	0,381
Mi								0,381

Dp = densidade da partícula; Ds=densidade do solo; Pt= porosidade total; Ma= macroporosidade; Mi=microporosidade; RP=resistência à penetração.

* = Significativo ($P < 0,05$), ** = Significativo ($P < 0,01$), ns = não significativo.

Observa-se, ainda, uma correlação positiva e significativa ao nível de ($P \leq 0,05$) para Dp x Ds x Pt x Ma x Mi, para a profundidade de 20 – 40 cm. O que possivelmente pode-se atribuir a pequenas frações de sesquióxidos de ferros (materiais lateríticos) encontrados no solo. Bigarella (2007), em estudos desenvolvidos no oeste da Bahia e leste de Goiás, em solos de textura argilosa corroboram com esses resultados ao enfatizarem que tanto as características mineralógicas destes solos, quanto as estruturais refletem o clima do ambiente de formação. Enquanto Kiehl (1979) reforça os resultados quando afirma que a relação da densidade da partícula com plantas pode ser considerada como sendo indireta; isso porque os valores altos ou baixos encontrados estão ligados à presença de certos componentes minerais ou orgânicos, os quais podem influenciar mais diretamente no comportamento das plantas.

A correlação entre Pt x Mi x Ma apresentou-se positiva e significativa ($P \leq 0,01$), corroborando com esses resultados Alves et al. (2007), em estudos desenvolvidos em Argissolo Vermelho textura argilosa afirmam que esses resultados expressam a inter-relação entre a porosidade e a densidade do solo, com reflexos diretos na redução da macroporosidade e aumento da microporosidade ou seja, o aumento da densidade do solo reflete na redução da porosidade devido à diminuição de macroporos. Deste modo, a distribuição dos poros na matriz do solo apresenta-se mais importante, visto que, de acordo com a distribuição dos diferentes tamanhos dos poros, pode haver restrição do fluxo de água no solo. Essa correlação ocorre para os três sistemas de manejo e profundidades estudadas.

No Sistema de Manejo da Caatinga Tabela 4.16, se observa uma correlação negativa e significativa ($P \leq 0,01$) para os atributos areia x argila nas três profundidades estudadas indicando o alto percentual da fração coloidal da argila no solo a qual interfere em todos os outros atributos avaliados.

Tabela 4.16. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos físicos de um Vertissolo submetido ao sistema de manejo caatinga.

Sistema de Manejo Caatinga para a profundidade de 0-20 cm								
Indicadores	Silte	Argila	Dp	Ds	Pt	Ma	Mi	RP
Areia	-0,045	-0,849**	-0,123	0,221	-0,344	-0,344	-0,344	0,143
silte		-0,488	0,637	0,315	0,115	0,115	0,115	-0,445
Argila			-0,229	-0,360	0,239	0,239	0,239	0,110
Dp				0,515	0,204	0,204	0,204	-0,024
Ds					-0,731	-0,731	-0,731	0,498
Pt						1,000**	1,000**	-0,558
Ma							1,000**	-0,558
Mi								-0,558
Sistema de Manejo Caatinga para a profundidade de 20-40 cm								
Indicadores	Silte	Argila	Dp	Ds	Pt	Ma	Mi	RP
Areia	-0,321	-0,809*	-0,060	-0,084	-0,344	0,344	0,344	-0,374
silte		-0,295	0,448*	-0,344	0,174	0,174	0,174	-0,034
Argila			-0,216	0,298	0,239	0,239	0,239	0,399
Dp				-0,036	0,560	0,560	0,560	-0,754
Ds					-0,115	-0,115	-0,115	-0,139
Pt						1,000**	1,000**	-0,241
Ma							1,000**	-0,241
Mi								-0,241
Sistema de Manejo Caatinga para a profundidade de 40-60 cm								
Indicadores	Silte	Argila	Dp	Ds	Pt	Ma	Mi	RP
Areia	-0,440	-0,964**	0,286	-0,166	0,403	0,403	0,403	-0,198
silte		0,308	-0,626	0,184	-0,431	-0,431	-0,431	0,533
Argila			-0,155	0,339	-0,421	-0,421	-0,421	0,009
Dp				0,159	0,462	0,462	0,462	-0,464
Ds					-0,665	-0,665	-0,665	-0,243
Pt						1,000**	1,000**	-0,286
Ma							1,000**	-0,286
Mi								-0,286

Dp = densidade da partícula; Ds=densidade do solo; Pt= porosidade total; Ma= macroporosidade; Mi=microporosidade; RP=resistência à penetração.

* = Significativo ($P < 0,05$), ** = Significativo ($P < 0,01$), ns = não significativo.

Os valores das correlações entre os atributos químicos do solo estão apresentados nas Tabelas 4.17, 4.18 e 4.19 para os sistemas de manejo convencional (SMC), Sistema de Manejo Orgânico (SMO) e o Sistema de Manejo da Caatinga (SMCa).

O SMC (Tabela 5.17) apresentou uma correlação significativa negativa ($P \leq 0,05$) para o Ca^{2+} x pH na profundidade de 0 - 20cm, o que era de se esperar em razão dos altos conteúdos de Ca^{2+} , juntamente com os altos conteúdos de Mg^{2+} presentes nestes solos favorecendo a uma reação alcalina para o pH.

Tabela 4.17. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos químicos de um Vertissolo submetido ao sistema de manejo convencional.

Sistema de Manejo Convencional para a profundidade de 0-20 cm										
Indicadores	Ca^{3+}	Mg^{3+}	Na	VS	VT	MO	Corg	U1/3 atm	U15atm	AD
pH	-0,808*	0,219	0,708	-0,064	-0,064	0,180	0,177	-0,037	-0,351	0,453
Ca^{3+}		-0,283	-0,731	0,091	0,091	-0,318	-0,321	0,092	0,070	-0,025
Mg^{3+}			-0,4281	0,772	0,772	0,183	0,186	0,666	0,687	-0,423
Na				-0,469	-0,469	-0,066	-0,067	-0,696	-0,634	0,335
VS					1,000**	0,5264	0,267	0,607	0,626	-0,393
VT						0,264	0,267	0,607	0,626	-0,393
MO							0,999**	0,427	0,512	-0,375
Corg								0,429	0,516	-0,380
U1/3atm									0,699	-0,192
U15atm										-0,836**
Sistema de Manejo Convencional para a profundidade de 20-40 cm										
Indicadores	Ca^{3+}	Mg^{3+}	Na	VS	VT	MO	Corg	U1/3 atm	U15atm	AD
pH	0,081	-0,189	0,782	0,427	0,427	-0,801*	-0,200	0,551	-0,014	0,464
Ca^{3+}		0,034	-0,476	0,347	0,347	0,171	0,728	0,088	0,457	-0,378
Mg^{3+}			-0,345	0,714	0,714	0,290	0,320	0,564	0,733	-0,259
Na				0,094	0,094	-0,655	-0,200	0,185	-0,337	0,483
VS					1,000**	-0,060	-0,651	0,709	0,754	-0,153
VT						-0,060	0,651	0,709	0,745	-0,153
MO							0,240	-0,566	0,345	-0,802*
Corg								0,200	-0,853**	-0,676
U1/3atm									0,395	0,428
U15atm										-0,660
Sistema de Manejo Convencional para a profundidade de 40-60 cm										
Indicadores	Ca^{3+}	Mg^{3+}	Na	VS	VT	MO	Corg	U1/3 atm	U15atm	AD
pH	-0,192	-0,772	0,458	-0,034	-0,034	-0,689	-0,227	0,3857	-0,541	0,859**
Ca^{3+}		-0,098	-0,723	-0,370	-0,370	-0,163	0,442	0,168	0,635	-0,417
Mg^{3+}			-0,016	0,523	0,523	0,442	0,300	-0,129	0,458	-0,553
Na				0,765	0,765	-0,299	0,089	0,545	-0,250	0,781
VS					1,000**	-0,171	0,522	0,642	0,315	0,355
VT						-0,171	0,522	0,642	0,315	0,355
MO							-0,429	-0,621	-0,029	-0,598
Corg								0,728	0,783	0,009
U1/3atm									0,466	0,576
U15atm										-0,454

VS= valor S; VT =valor T; Corg=carbono orgânico; U1/3 atm= umidade a 1/3 de atm; U15 atm= umidade a 15 atm; AD= água disponível.

* = Significativo ($P < 0,05$)

** = Significativo ($P < 0,01$,

ns = não significativo.

A correlação da saturação de bases ($VS = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na + K$) apresentam-se positiva e significativa ($P \leq 0,01$) para os três sistemas de manejo e profundidades estudadas, similarmemente para os valores da capacidade de troca de cátions ($VT = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na + K + Al^{3+} H^+$), uma vez que nestes solos os teores de Al^{3+} e H^+ estão totalmente ausentes. Em estudos realizados nos Vertissolos das Várzeas de Sousa, Corrêa et al, (2003) reporta-se ao cálcio como o principal contribuinte na soma de bases trocáveis (SB), seguido pelo magnésio, refletindo, assim, a natureza do material de origem (argilitos e arenitos calcíferos), chegando a ocupar, em média, 62 e 26 % do complexo sortivo, respectivamente.

Observa-se ainda uma correlação positiva e significativa ($P \leq 0,01$) para MO x C. org. no Sistema de Manejo Convencional, apenas para a profundidade de 0 - 20 cm, possivelmente em resposta aos restos culturais incorporados ao solo. E uma correlação significativa negativa ($P \leq 0,01$) para a relação C. org. x U/15 atm indicando possivelmente que os conteúdos de MO do solo neste sistema de manejo não são suficientes para manter o conteúdo de água disponível do solo. Falleiro et al. (2003), estudando a influência dos sistemas de manejo nas propriedades físicas e químicas dos solos relatam que a intensidade de revolvimento do solo e de incorporação dos resíduos culturais promovem modificações nos teores de matéria orgânica (MO), na capacidade de troca de cátions (CTC), no pH, na dinâmica dos íons e na agregação solo tornando-se mais evidentes conforme aumenta o tempo de uso da área.

Para o Sistema de Manejo Orgânico Tabela 5.18, observa-se uma correlação positiva e significativa ($P \leq 0,01$) para relação Ca^{2+} x VS x VT às profundidades de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm resultantes dos altos teores de Ca^{2+} encontrados nestes solos como já foi abordado anteriormente. Verifica-se também, uma correlação positiva e significativa ($P \leq 0,01$) entre a MO x C.org para as três profundidades estudadas, o que é perfeitamente aceitável para o tipo de manejo adotado, compactuando com esses resultados Faria et al. (2007), trabalhando em áreas com diferentes tempos de cultivo na região do Submédio São Francisco, encontraram aumento nos teores de MO, ao compará-las com áreas sem interferência antrópica.

Para os valores de saturação de bases (VS) e capacidade de troca de cátions (VT) correlacionados a capacidade de campo (U1/3 atm) houve uma correlação positiva e significativa ($P \leq 0,01$), nas profundidades de 20 - 40 cm e 40 - 60 cm indicando a presença de um certo conteúdo de água no solo nessas profundidades.

Tabela 4.18. Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos químicos de um Vertissolo submetidos ao sistema de manejo orgânico (SMO).

Sistema de Manejo Orgânico para a profundidade de 0-20 cm										
Indicadores	Ca ³⁺	Mg ³⁺	Na	VS	VT	MO	C.org.	U1/3 atm	U15atm	AD
pH	0,731	-008	0,821*	0,614	0,614	-0,335	-0,340	0,545	0,295	0,478
Ca ³⁺		0,032	0,690	0,874**	0,874**	-0,147	-0,153	0,792	0,496	0,642
Mg ³⁺			-0,219	0,502	0,502	0,271	0,271	0,047	0,556	-0,376
Na				0,527	0,527	-0,604	-0,608	0,669	0,267	0,663
VS					1,000**	-0,024	-0,028	0,736	0,686	0,420
VT						-0,024	-0,028	0,736	0,686	0,420
MO							0,999**	-0,028	-0,037	-0,007
Corg								-0,033	-0,042	-0,010
U1/3atm									0,642	0,798*
U15atm										0,051
Sistema de Manejo Orgânico para a profundidade de 20-40 cm										
Indicadores	Ca ³⁺	Mg ³⁺	Na	VS	VT	MO	C.org.	U1/3 atm	U15atm	AD
pH	0,492	-0,785	0,800*	0,384	0,384	-0,096	-0,097	0,622	0,244	0,709
Ca ³⁺		-0,430	0,466	0,922**	0,922**	0,079	0,085	0,870**	0,699	0,611
Mg ³⁺			-0,490	-0,133	-0,133	-0,239	-0,228	-0,519	-0,085	-0,692
Na				0,546	0,546	-0,134	-0,130	0,726	0,364	0,776
VS					1,000**	-0,072	-0,060	0,837**	0,750	0,528
VT						-0,072	-0,060	0,837**	0,750	0,528
MO							0,999**	0,036	-0,390	0,284
Corg								-0,029	-0,387	0,292
U1/3atm									0,763	0,781
U15atm										0,196
Sistema de Manejo Orgânico para a profundidade de 40-60 cm										
Indicadores	Ca ³⁺	Mg ³⁺	Na	VS	VT	MO	Corg	U1/3 atm	U15atm	AD
pH	0,325	-0,360	0,644	0,540	0,540	0,171	0,179	0,732	0,240	0,511
Ca ³⁺		-0,240	0,032	0,737	0,737	0,264	0,272	0,737	0,694	0,270
Mg ³⁺			-0,024	0,178	0,178	0,151	0,136	-0,327	-0,120	-0,654
Na				0,538	0,538	0,081	0,074	0,657	-0,074	0,518
VS					1,000**	0,458	0,455	0,837**	0,533	0,190
VT						0,458	0,455	0,837**	0,533	0,190
MO							0,999**	0,310	0,768	-0,486
Corg								0,315	0,779	-0,482
U1/3atm									0,515	0,563
U15atm										-0,279

VS = valor S; VT =valor T; Corg =carbono orgânico; U1/3 atm = umidade a 1/3 de atm; U15 atm = umidade a 15 atm; AD= água disponível.

* = Significativo (P<0,05)

** =Significativo (P<0,01)

ns = não significativo

Para o Sistema de Manejo da Caatinga Tabela 4.19, observa-se uma correlação positiva e significativa ($P \leq 0,01$) para a relação pH x Ca²⁺, a profundidade de 0 - 20 cm, indicando a influência dos altos teores de Ca³⁺ presentes neste solos como já foi mencionado anteriormente, mesmo sob condições naturais de manejo. Igualmente ao SMC e SMO, observa-se para os valores da capacidade de troca de cátions (VT) uma correção positiva e significativa ($P \leq 0,01$), para as três profundidades estudadas evidenciando altas quantidades desses elementos (Ca²⁺ + Mg²⁺ + Na + K) no solo independentes do sistema de manejo

adotado. Observa-se ainda, uma correlação positiva e significativa ($P \leq 0,01$) para MO x C.org no SMCa, para as três profundidades.

É interessante ressaltar que mesmo nas condições adversas de semiaridez, a caatinga, na ausência de pressões antrópicas, contribui significativamente na manutenção da fração orgânica do solo. Portanto, acredita-se que os solos cultivados no SMO mantenham praticamente as mesmas condições naturais dos solos sob caatinga, notadamente, podendo ser explorados por um maior horizonte de tempo sem grandes riscos de degradação.

Tabela 4.19. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos químicos de um Vertissolo submetido ao sistema de manejo caatinga.

Sistema de Manejo Caatinga para a profundidade de 0-20 cm										
Indicadores	Ca ³⁺	Mg ³⁺	Na	VS	VT	MO	Corg	U1/3 atm	U15atm	AD
pH	0,867**	-0,530	-0,289	0,608	0,608	0,386	0,390	0,307	-0,042	0,478
Ca ³⁺		-0,288	-0,349	0,810	0,810	-0,027	-0,024	0,631	0,289	0,627
Mg ³⁺			-0,041	0,256	0,256	-0,539	-0,529	0,363	0,745	-0,184
Na				-0,317	-0,317	-0,182	-0,184	0,070	-0,138	0,229
VS					1,000**	-0,194	-0,187	0,835**	0,715	0,516
VT						-0,194	-0,187	0,835**	0,715	0,516
MO							0,999**	-0,532	-0,408	-0,372
Corg								-0,529	-0,400	-0,375
U1/3atm									0,712	0,751
U15atm										0,073
Sistema de Manejo Caatinga para a profundidade de 20-40 cm										
Indicadores	Ca ³⁺	Mg ³⁺	Na	VS	VT	MO	Corg	U1/3 atm	U15atm	AD
pH	-0,038	-0,163	-0,384	-0,273	-0,273	-0,006	-0,413	-0,701	-0,780	-0,312
Ca ³⁺		-0,449	-0,352	0,496	0,496	0,676	0,574	0,214	0,187	0,172
Mg ³⁺			0,386	0,524	0,524	-0,013	0,270	0,330	0,409	0,083
Na				0,248	0,248	-0,088	-0,171	0,596	0,476	0,547
VS					1,000**	0,631	0,751	0,649	0,657	0,388
VT						0,631	0,751	0,0649	0,657	0,388
MO							0,999**	0,308	0,237	0,296
Corg								0,506	0,553	0,241
U1/3atm									0,541	0,762
U15atm										0,410
Sistema de Manejo Caatinga para a profundidade de 40-60 cm										
Indicadores	Ca ³⁺	Mg ³⁺	Na	VS	VT	MO	Corg	U1/3 atm	U15atm	AD
pH	0,004	0,183	0,577	0,435	0,435	-0,219	-0,196	-0,149	0,315	-0,657
Ca ³⁺		-0,431	-0,403	0,654	0,654	0,001	0,011	0,283	0,488	0,219
Mg ³⁺			0,228	0,264	0,264	-0,040	-0,044	0,7147	0,071	-0,058
Na				0,173	0,173	-0,119	-0,125	-0,109	0,139	-0,339
VS					1,000**	-0,051	-0,042	0,344	0,636	0,028
VT						-0,051	-0,042	0,344	0,636	0,028
MO							0,999**	0,752	0,306	0,751
Corg								0,752	0,316	0,736
U1/3atm									0,787	0,812
U15atm										0,377

VS= valor S; VT =valor T; Corg=carbono orgânico; U1/3 atm = umidade a 1/3 de atm; U15 atm= umidade a 15 atm; AD= água disponível.

* =Significativo ($P < 0,05$)

** =Significativo ($P < 0,01$)

ns = não significativo

No contexto dos indicadores físicos, químicos e biológicos, para uma exploração agrícola economicamente viável e ambientalmente correta dos Vertissolos do Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa, ressalta-se a importância do estudo espaço temporal sobre o uso da terra e da vegetação da caatinga, bem como, das vulnerabilidades social, econômica, tecnológica e ambiental para que se possam nortear práticas de preservação da diversidade biológica, planejamento agrícola dessas áreas e definição de políticas públicas de desenvolvimento sustentável.

4.7. Análise do Espaço Temporal Uso da Terra e Vegetação

Na Figura 4.9, observam-se as precipitações pluviométricas referentes ao ano de 1998 e 2011 (AESAs, 2012), onde o traço marcante das precipitações é a sua má distribuição no tempo.

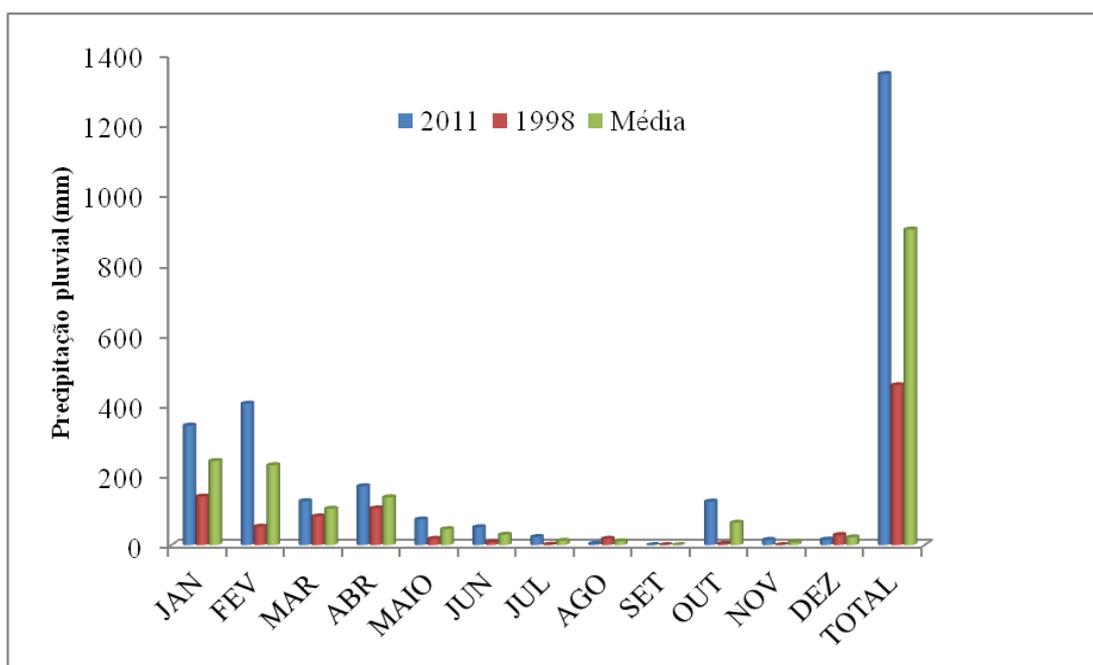


Figura 4.9. Precipitações pluviométricas para ano de 1998 e 2011 no Município de Sousa-PB (AESAs, 2012).

A irregularidade climática é a causa da ocorrência da maioria das secas ocorridas e não a falta total das chuvas. Verifica-se a sua concentração em alguns meses, e uma variação em anos alternados. Na série apresentada 86% do total anual são precipitados em cinco meses consecutivos, ou seja, de janeiro a maio, sendo o seu máximo no mês de março. Para Conti (2002), embora os avanços tecnológicos e científicos possam mudar a paisagem, o clima

influencia consideravelmente nas condições humanas, tipo de vegetação, solos e exploração agrícola.

No estudo espaço temporal para as imagens com datas de passagem em 18/09/1998 e 3/09/2011, respectivamente, constata-se que embora o ano de 1998 tenha sido considerado um ano de seca enquanto o ano de 2011 tenha sido bastante chuvoso, com médias de precipitação em torno de 500 mm a 1.346 mm, respectivamente, observa-se que as datas de passagens das imagens estão compreendidas no período mais seco (julho a novembro), tanto para 1998 quanto para 2011, o que não interferiu na densidade da vegetação encontrada.

A composição Multiespectral Ajustada (CMA) permite comparar o comportamento da cobertura vegetal, ou seja, redução, recuperação ou mudança de uso das terras na área de abrangência do PIVAS para o ano de 1998 (Figura 4.10).

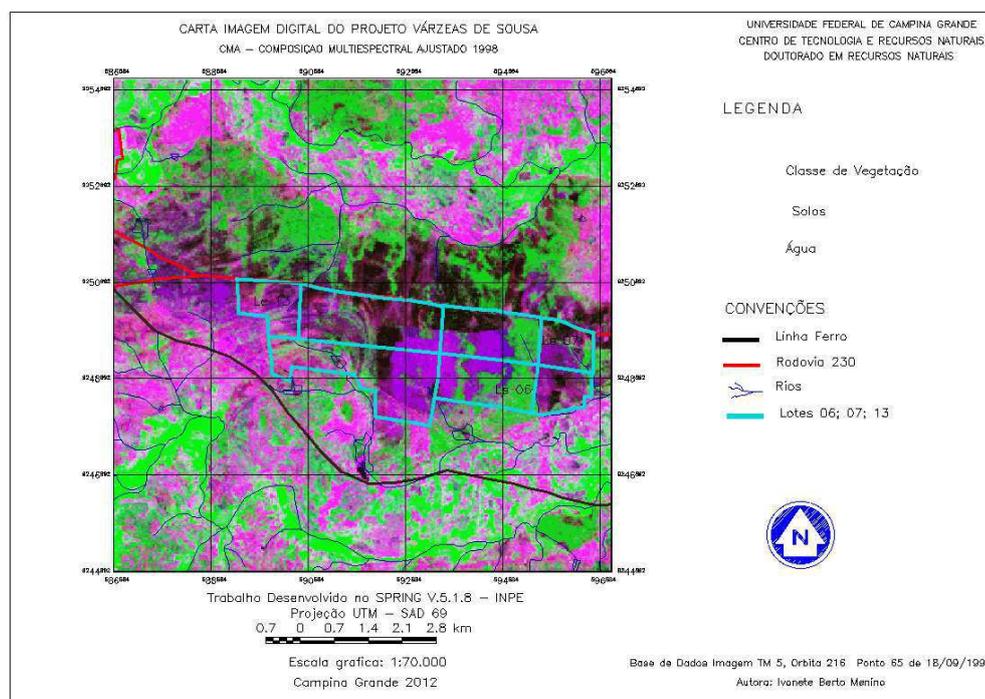


Figura 4.10. Composição Multiespectral Ajustada (CMA), para o ano de 1998.

As áreas com baixos índices de vegetação, ou seja, solo exposto mais vegetação rala, são identificadas pela cor ciano e/ou magenta, já as áreas onde predominam uma vegetação mais densa apresentam-se em tons verdes mais escuros representando a vegetação da caatinga e as áreas em tons verdes mais claros correspondem a mata ciliares dos Rios do Peixe, Piranhas e os cultivos agrícolas. Atenta-se, também, que nessa área em 1998, ocorria como parte da cobertura vegetal fragmentos expressivos formados por mata de carnaúbas, por

vezes, associados a explorações agrícolas e a cultura do algodão típicas da região (Figura 4.11).



Figuras 4.11. Fragmentos de vegetação representativa no ano de 1998 antes da implantação do projeto (A) com explorações agrícolas e (B) mata de carnaúba.

Ocorriam, também, compondo a mata ciliar do Rio Piranhas *Ziziphus joazeiro* Mart. (juazeiros), *Licania rigida* Benth. (oiticicas) dentre outras, árvores seculares de grande porte, as quais foram totalmente dizimadas quando da entrega dos lotes aos agricultores familiares para implantação do projeto e moradias. Embora em relatório técnico a EMEPA-PB (2006), por ocasião do desmatamento nos setores, IV, lotes de 02 a 11 do Projeto Várzeas de Sousa, recomendasse fazer o desmatamento parcial para minimizar os impactos e dar sustentabilidade ao projeto (Figura 4.12).



Figura 4.12. Setor IV lote 11, próximo ao Rio Piranhas (A) corte de oiticica e (B) corte de juazeiro.

Observa-se, de acordo com a imagem (Figura 4.13) e pesquisa de campo, que a implantação do projeto provocou uma redução da vegetação densa na área trabalhada, bem como alterou de maneira direta ou indireta os outros estratos arbóreos, em cuja composição

florística se encontra apenas reminiscências de espécies, como: *Anadenanthera falcata* Benth. Speg. (angico); *Myracrodruom urundeuva* Fr. All. (aroeira); *Ziziphus joazeiro* Mart. (Juazeiro), *Cridoscolus phyllacanthus* Müll. Arg. (faveleira), dentre outras.

Apesar da supressão da vegetação densa ter sido um dos fatores mais impactantes do projeto, hoje, ao se confrontar com a vegetação da imagem de 2011 (Figura 4.13), observa-se que há predominância da vegetação semidensa e de culturas agrícolas, representadas por tons verdes claro. As quais correspondem à área destinada a agricultores familiares e solos tipo Neossolos Flúvicos. A cobertura vegetal da caatinga, representadas por tons verdes escuro, nas áreas dos solos Vertissolos e nas inclusões dos solos Luvisolos restam poucos fragmentos dessa vegetação.

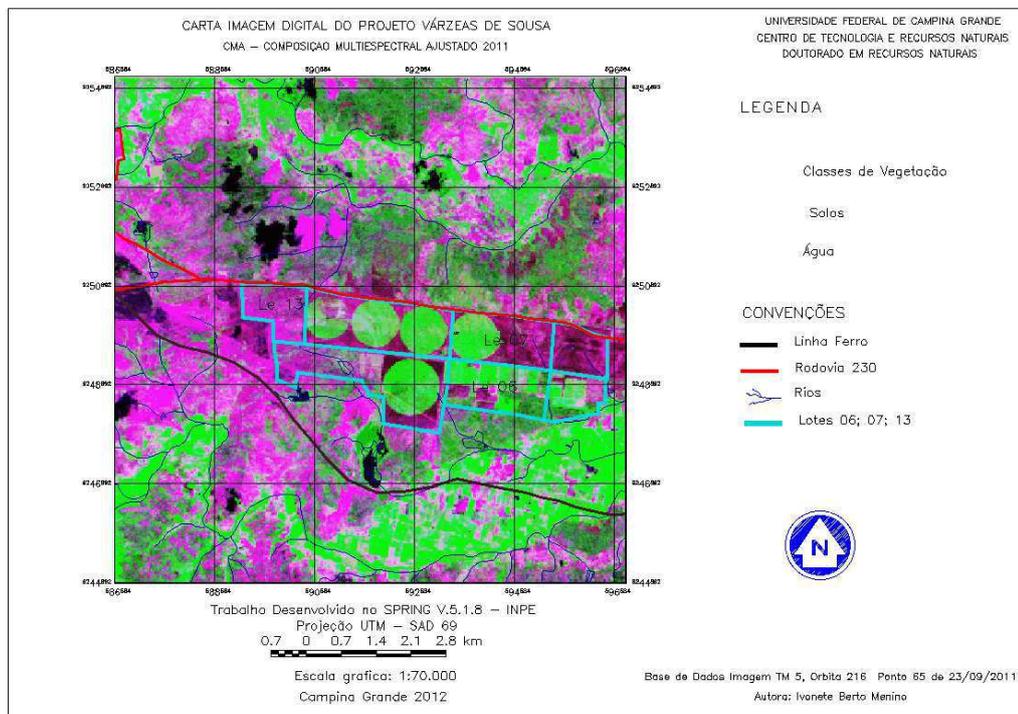


Figura 4.13. Índices das composições multiespectral ajustada (CMA), para o ano de 2011.

A Figura 4.14 permite uma visão dos fragmentos da vegetação da caatinga e uso do agrícola para a série temporal de 1998 e 2011. O mapeamento considera as classes de cobertura vegetal: densa, semidensa, rala, solo exposto, culturas agrícolas, áreas sem culturas (pousio) e uma classe de corpo d'água.

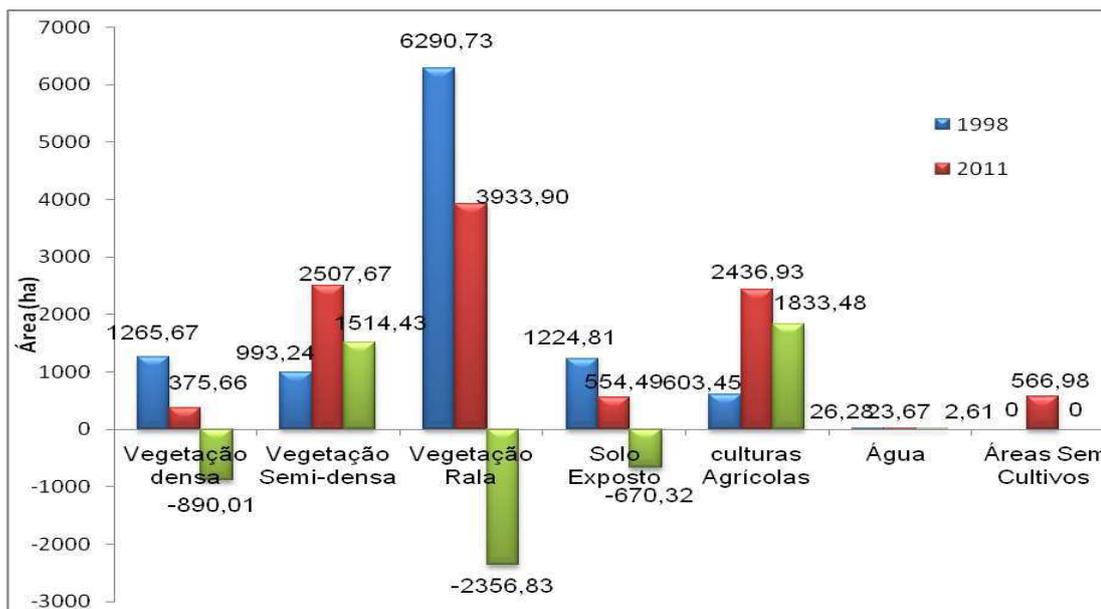


Figura 4.14. Visualização das medidas de classe da vegetação da caatinga das imagens TM Landsat ano 1998 e 2011 na área de abrangência do PIVAS - Sousa-PB.

Nos mapas digitais (Figuras 4.15 e 4.16) estão espacializadas as classes de cobertura vegetal da área de abrangência do PIVAS, com ocorrências da modificação da paisagem nesse intervalo de treze anos. Observa-se que houve uma variação de área para mais nas classes de vegetação semidensa e áreas de culturas agrícolas do período de 1998 a 2011, na ordem de 152 e 304%, respectivamente. Entretanto, ocorreu uma supressão nas áreas da vegetação densa e vegetação rala na ordem de 70 e 37%, respectivamente, o que possivelmente para o caso da vegetação densa torna a caatinga mais pobre pelo desaparecimento de algumas espécies de maior porte. Em contrapartida, a variação encontrada para uma menor área dos solos expostos, torna-se positiva em termos de maior percentual da cobertura do solo diminuindo os riscos de erosão.

Em confronto com os trabalhos de campo, constata-se que foram salvaguardadas pelo projeto 1.473,55 hectares, segundo a Legislação Ambiental (Código Florestal Brasileiro - Lei Federal nº 4771/65), correspondendo às áreas de reserva legal e preservação permanente, mais que os 20% estabelecidos por lei. Entretanto, essa área não compensa os danos ambientais sofridos durante esses treze anos.

Essa mudança de estratos é justificada pelo potencial que os solos Neossolos Flúvicos apresentam para as explorações agrícolas, considerando, ainda, os aspectos favoráveis como a umidade do solo e predominância de relevo plano a suave ondulado, parâmetro indispensáveis para implantação de projetos hidroagrícolas, como se constata ao longo do Rio Piranhas. Nas

áreas de domínio do Rio do Peixe, a ocupação agrícola ocorre em menor escala em razão da sua poluição como também da água do canal ainda não ter sido disponibilizada, encontrando-se aí fragmentos da mata ciliar, como: *Poraqueiba sericea* Tul. (umari); *Abarema jupunha* Willd. (inharé); e *Licania rigida* Benth. (oiticica), dentre outras.

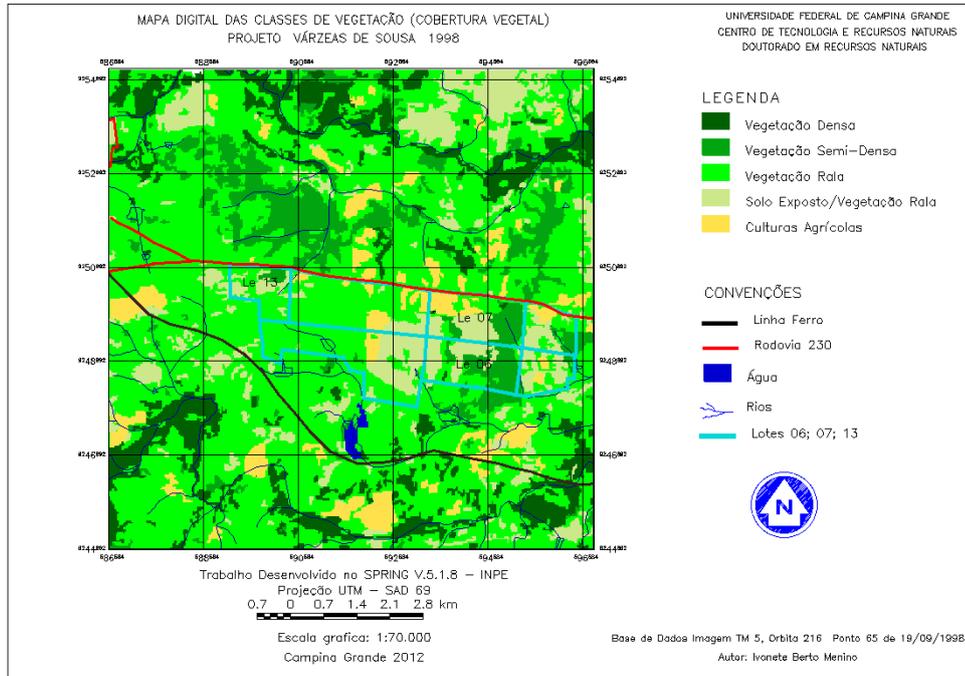


Figura 4.15. Classes de cobertura vegetal da caatinga mapeada para o ano de 1998.

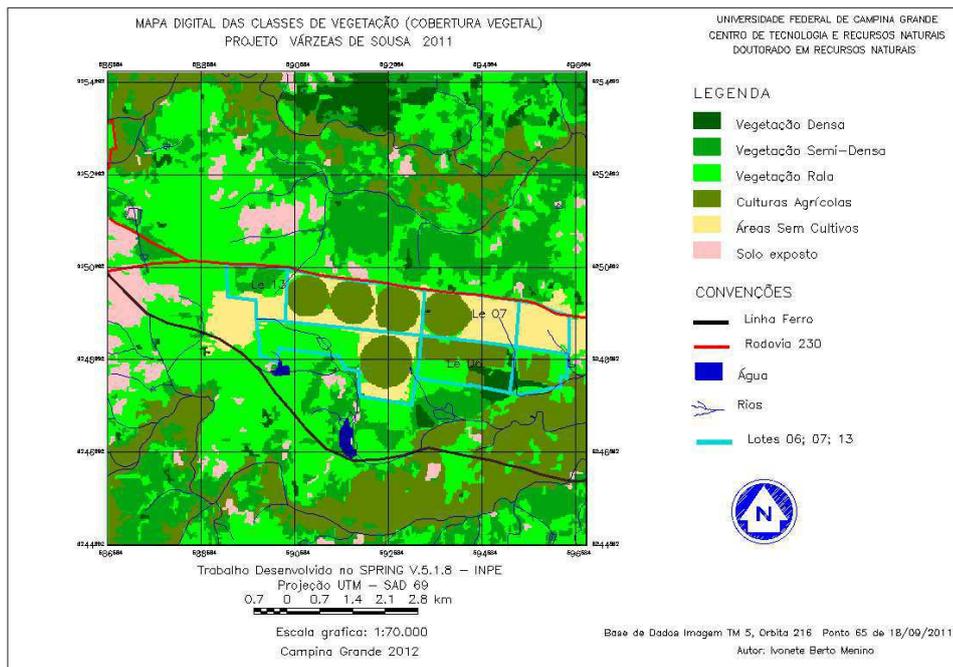


Figura 4.16. Classes de cobertura vegetal da caatinga mapeada para o ano de 2011.

Nas áreas de vegetação rala, entrecortadas por solos expostos e/ou em processo de degradação, constata-se de acordo com as pesquisas de campo a ocorrência de espécies de maior poder de adaptação (pioneiras) tais como: *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro), *Mimosa hostilis* Benth (jurema-preta), *Sennama crantha* Collad. (fedegoso), *Casearia sylvestris* Sw. (pau-de-lagarto), *Aloysia virgata* Ruiz (lixeira) e as componentes do estrato herbáceo (vegetação temporária que surge a cada estação chuvosa, conhecida como anual), tais como as espécies: *Astronium fraxinifolium* (gonçalo-alves), *Mabea fistulifera* Mart. (mamona-do-mato), *Coecoloba latifolia* (coaçu), *Manihot glaziovii* (maniçoba), *Lavandula latifolia*, Vill (alfazema brava). Verifica-se, também, a ocorrência dos solos mais rasos e pedregosos, os Neossolos Litólicos, intercalando-se entre a caatinga rala e semidensa, alguns indivíduos conservam o mesmo fenótipo, outros se apresentam com menor porte, e caules mais finos e tortuosos, nesses solos encontram-se o *Croton sonderianus* Muell. (marmeleiro); *Cobretum leprosum* (mofumbo), *Cereus squamosus* (facheiro); *Cereus jamacaru* (mandacaru); *Opuntia palmadora* (palma).

4.8. Análise das Vulnerabilidades Socioeconômicas e Ambientais

O estudo das vulnerabilidades social, econômica, tecnológica e ambiental a que foram submetidas às famílias do projeto de Irrigação das Várzeas de Sousa, apresentam-se nas classes média para a social, econômica e ambiental com 25,31%, 29,51% e 29,6%, respectivamente, e alta com 33,12% para a vulnerabilidade tecnológica (Figura 4.17).

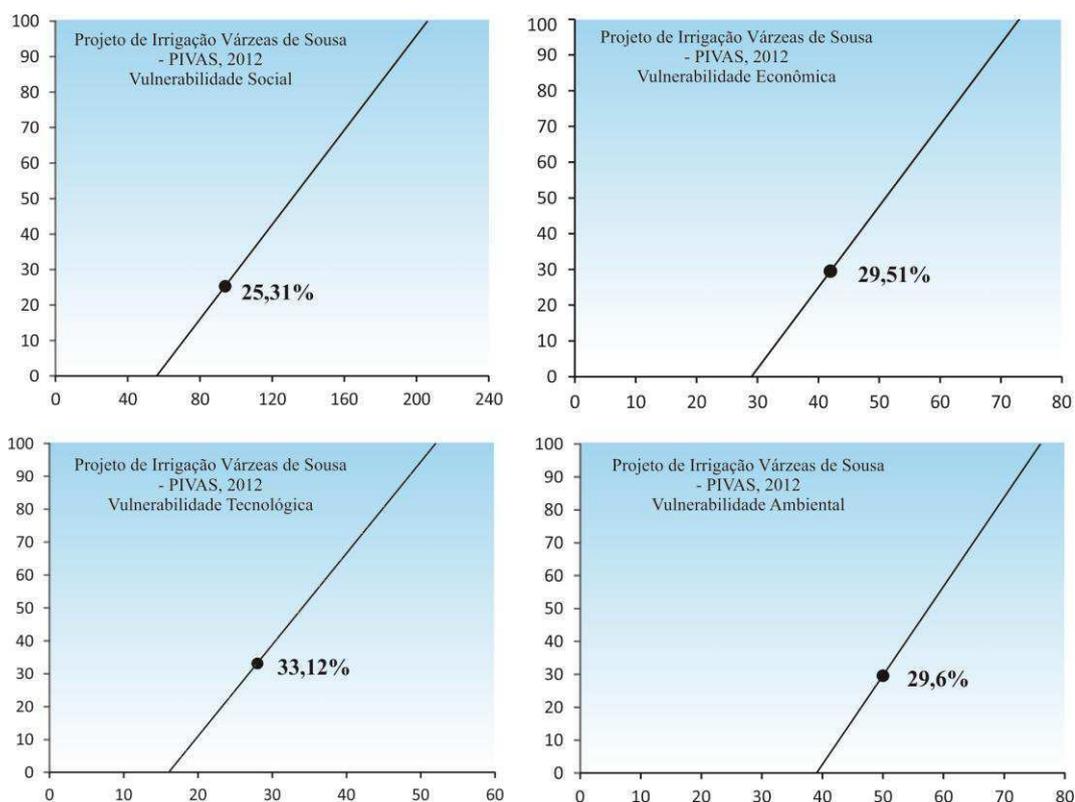


Figura 4.17. Vulnerabilidades: A) social, B) econômica, C) tecnológica e D) ambiental das famílias do Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB.

Esses valores, na visão geral do projeto podem ser considerados satisfatórios, uma vez que o projeto ainda encontra-se em fase de estruturação o que pode ter influenciado nas variáveis analisadas nessa fase atual, para num futuro próximo, passar a ocupar a classe de vulnerabilidade boa. Um contraponto pode ser levantado com a análise das vulnerabilidades aplicado as famílias do Assentamento Nova Vida I, contíguas à área do Projeto de Irrigação, com vulnerabilidades de 61,24%, 68,10%, 72,73% e 73,64% para social, econômica, tecnológica e ambiental, respectivamente (Figura 4.18), sendo classificadas como alta, em consequência das condições inóspitas a que as famílias estão sujeitas. Validando esses resultados, Araújo et al. (2003), em diagnóstico socioeconômico ambiental para o município, agrupou as famílias rurais nas classes de vulnerabilidade alta a muito alta, bem semelhantes às condições vigentes na área do assentamento, entretanto, contrariam as condições satisfatórias encontradas para a área do PIVAS.

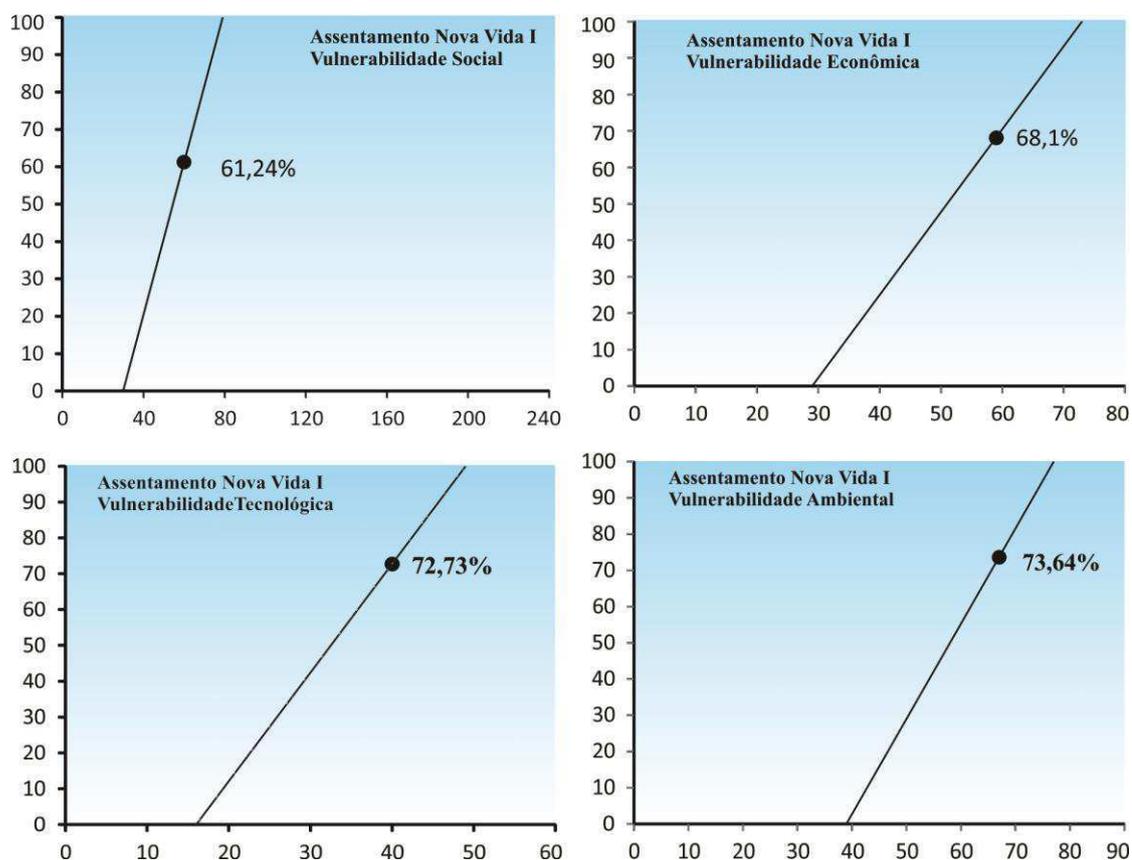


Figura 4.18. Vulnerabilidades: A) social, B) econômica, C) tecnológica e D) ambiental do Assentamento Nova Vida I.

4.8.1. Vulnerabilidade social

Para o fator social, referente à variável demográfica do PIVAS, observam-se maiores índices da faixa etária nos intervalos de 26 a 64 anos, com 31,3% e de 19 a 25 anos com 27,7%, seguidos de 16,3% e 15,1% para a faixa etária de 18 anos a menores de 14 anos, respectivamente (Figura 4.19).

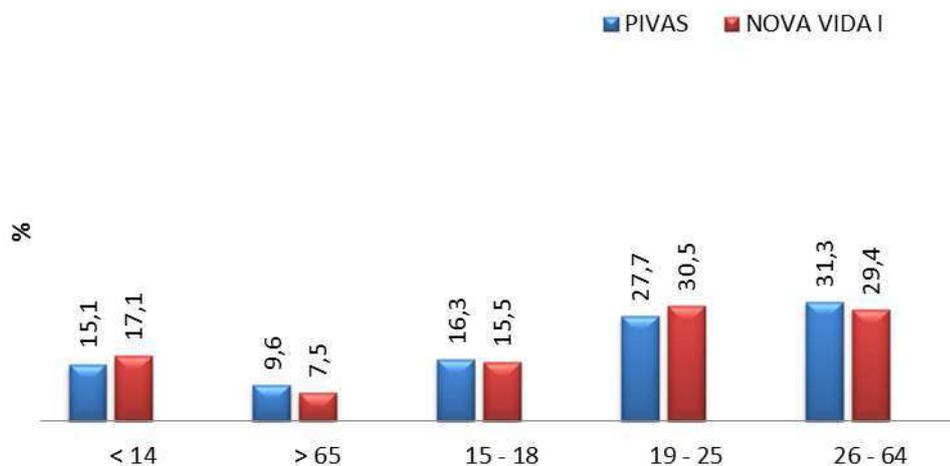


Figura 4.19. Distribuição de pessoas nas famílias por faixa etária, no Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa e Assentamento Nova vida I.

Com relação às famílias do Assentamento Nova Vida I, constata-se maior percentual nas faixas etárias entre 19 a 25 anos com 30,5%, e de 26 a 64 anos com 29,4%, seguidas de menores de 14 anos com 17,1% e jovens de 15 a 18 anos com 15,5%. Para a faixa etária de maiores que 65 anos, observaram-se baixos percentuais de 9,6% e 7,5% para as famílias do PIVAS e assentados, respectivamente.

O grau de escolaridade dentro do projeto apresenta-se bastante diversificado, com pessoas qualificadas desde o nível superior com 2,7%, técnicos agrícolas com 8,1% e analfabetas com 15,3%. Constatam-se um maior grau de escolaridade entre a 4ª e 8ª série com 31,5% e 26,1% respectivamente, o que fortalece o projeto, possivelmente, em maior aprendizado e adoção de novas tecnologias que sejam disponibilizadas pelas políticas públicas. Para as famílias assentadas, observam-se maiores índices entre analfabetos com 29,1% e pessoas que cursaram até a 4ª série com 42,5%, embora na sede da associação funcione uma escola do primeiro grau (Figura 4.20).

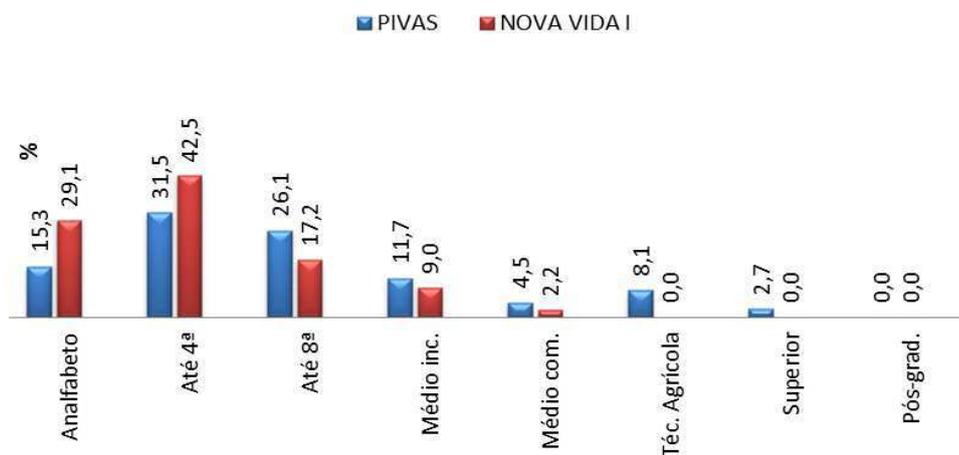


Figura 4.20. Nível de escolaridade das famílias no Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa e Assentamento Nova vida I.

No tocante à variável habitação, 32% residem na cidade de Sousa e/ou Aparecida, indo para o campo todos os dias, enquanto 68% residem na área do projeto. Indagando-se a respeito do “por que morar na cidade”, muitos alegaram a facilidade dos filhos frequentarem a escola, sem a necessidade de transporte. Com relação às famílias do Assentamento Nova Vida I, todos residem no local do assentamento.

Observa-se que todas as famílias do projeto possuem moradias com condição razoável de habitação (Figura 4.21), sendo 100% das casas de alvenaria, teto em telha de cerâmica, piso de cimento e em algumas residências com cerâmica, dotadas de banheiros com fossas sépticas como meio de eliminação dos dejetos. Em se tratando da qualidade de vida quanto ao uso dos recursos energéticos, 36% usam apenas fogão a gás, 56% intercala entre gás/carvão/lenha e apenas 8% usa lenha e carvão. O uso de eletros domésticos é muito apreciado em todas as residências com 80% de televisores e geladeiras além de grande percentual de rádios e DVD.

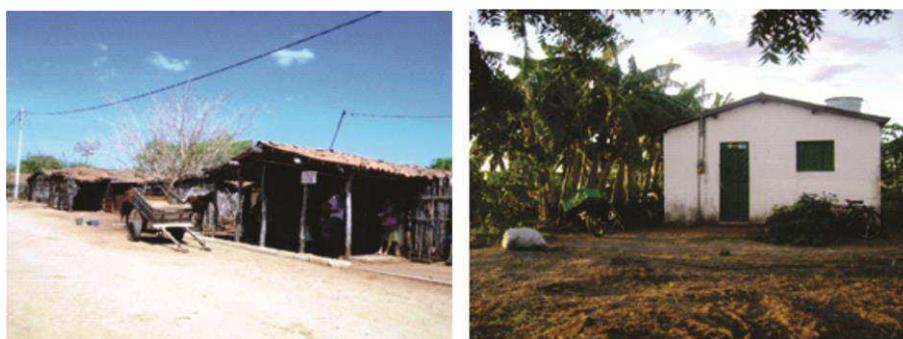


Figura 4.21. Tipo de habitação: A) Assentamento Nova Vida I. Coordenadas: 6° 46' 57,84" S e 38° 08' 02,04" O. B) Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB. Coordenadas: 6° 48' 36,96" S e 38° 08' 27,19" O.

Quanto ao consumo de água para dessedentação humana, 88% diz consumir água de cisterna armazenada no período das chuvas (Figura 4.22). Alguns mencionaram, também, o uso da água disponibilizada para irrigação, a qual por não passar por uma estação de tratamento, não pode ser considerada como água potável. Embora seja do conhecimento que as águas dos Açudes Coremas/Mãe d'água 88,9% foram classificadas como C1-S1 e 11,1% na classe C2-S1, por ocasião dos períodos mais secos, apresentando-se de potabilidade boa e própria para o consumo animal (SEMARH/EMEPA, 1998). Entretanto, pelas condições de uso no entorno do açude e seu percurso em canal aberto, para o consumo humano se faz necessário o tratamento químico ou mesmo que seja fervida e filtrada, o que dará melhores condições para o consumo humano sem riscos à saúde.



Figuras 4.22. Tipos de abastecimento de água do Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB. Coordenadas: 6° 48' 59,22" S e 38° 08' 54,38" O.

A eliminação do lixo é considerada precária, uma vez que 84% enterram ou queimam enquanto 16% eliminam de forma livre na área. Diante desta situação se faz necessária a presença da gestão pública, seja por meio de associações a que já pertencem ou órgãos parceiros, para que possam orientá-los ao destino correto dos seus resíduos sólidos. Como por exemplo, a prática da compostagem no próprio lote daria suporte à produção de adubo orgânico necessária aos cultivos, e teria um grande alcance socioambiental para as famílias.

As condições acima expostas contradizem a variável habitação vivenciada pelos assentados, onde a gestão das políticas públicas não supriu, ainda, as necessidades básicas de moradia. Assim, 64% residem em casa de madeira/palha e com chão batido, 36% em casas de madeira/lona, embora 88% dos tetos sejam de telha de cerâmica (Figura 4.23).

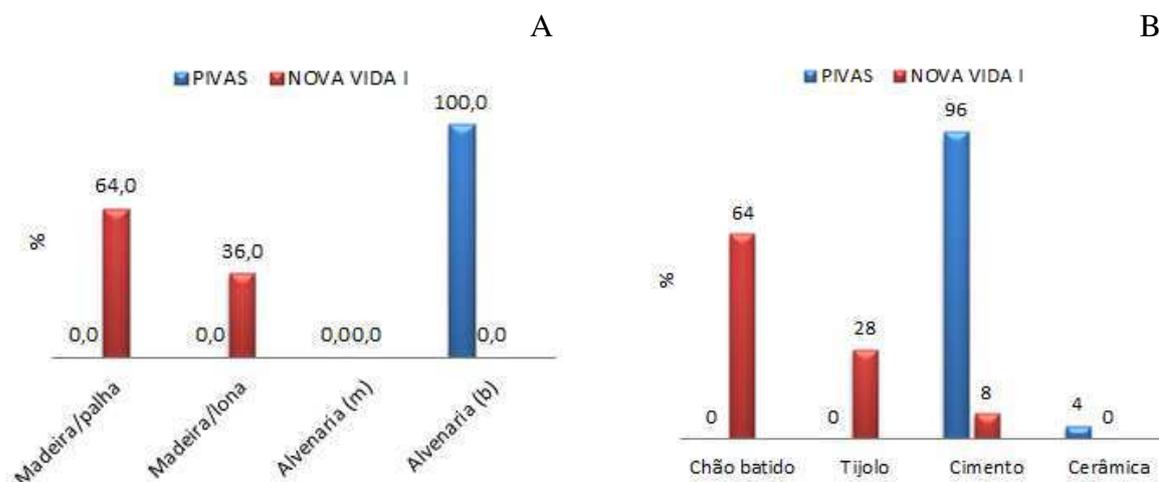


Figura 4.23. Qualidade da habitação e piso: A) Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB e B) do Assentamento Nova Vida I.

Quanto ao consumo de energéticos, 76% das famílias do assentamento cozinham com lenha/carvão/gás, não consomem água potável, utilizando para o consumo humano 100% da água disponibilizada pelo carro pipa, cujo abastecimento é feito três vezes por semana. A princípio essa água é armazenada em uma cisterna e bombeada para uma caixa tipo um chafariz, sendo feito o abastecimento domiciliar por meio de latas, enquanto para o consumo animal e afazeres domésticos utilizam água proveniente de poços artesanais (Figura 4.24).

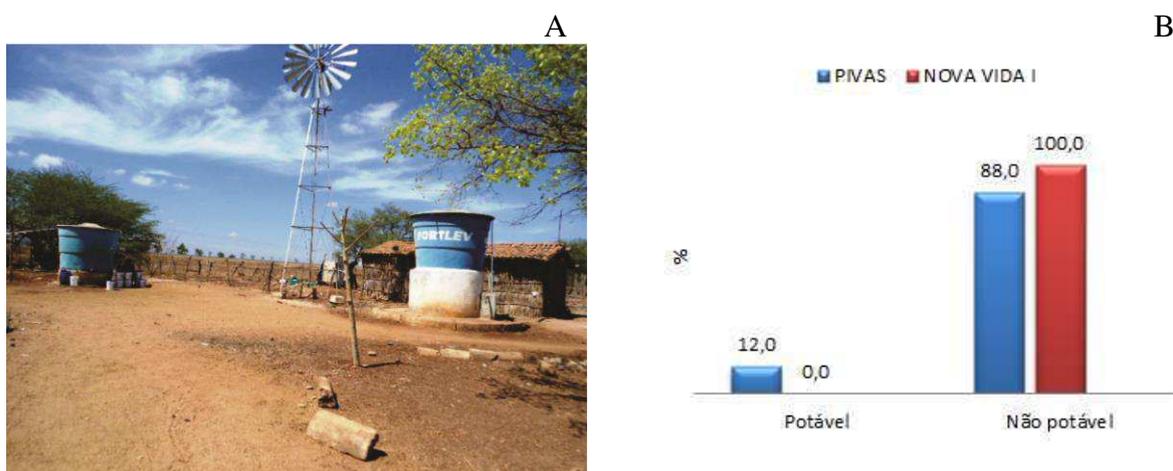


Figura 4.24. A) Tipo de abastecimento humano do assentamento Nova Vida I. Coordenadas: 6° 46' 58,25" S e 38° 08' 01,65" O. B) Uso da água potável do Assentamento Nova Vida I e Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB.

Como agravante a essa situação, 84% eliminam seus dejetos de forma livre. Entretanto, a Prefeitura Municipal de Aparecida disponibiliza a coleta dos resíduos sólidos uma vez por semana, destinando ao aterro sanitário boa parte desses resíduos, contudo, constata-se grande quantidade de lixos espalhados nos quintais e laterais das casas denotando a ausência de práticas de educação ambiental junto às famílias assentadas. É interessante observar, que mesmo em condições de moradia precária, 30% possuem geladeiras, 24,2% televisores, 35% rádios e 10% DVD (Figura 4.25).

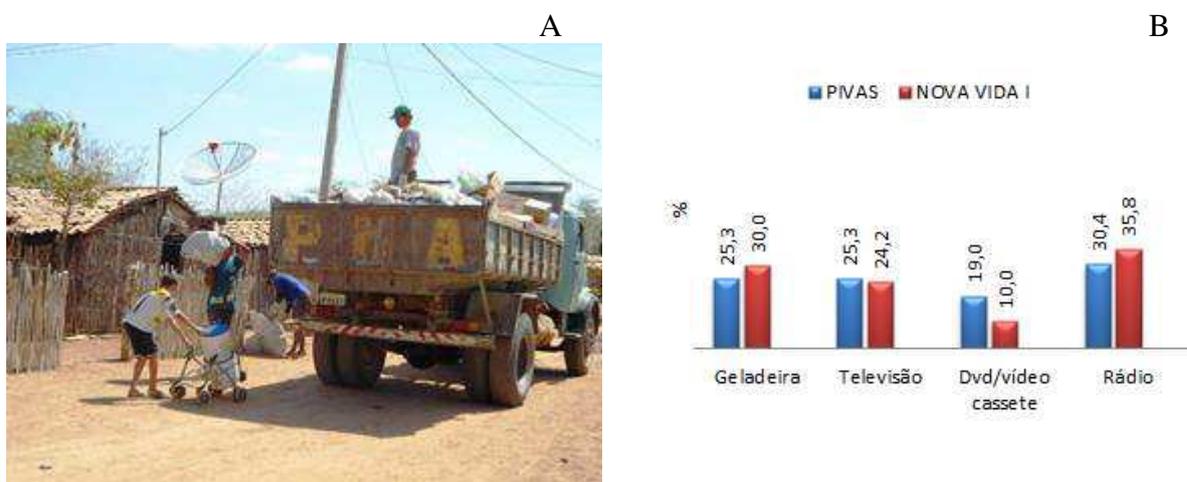


Figura 4.25. Assentamento Nova Vida I: A) Coleta do lixo e B) Uso de eletrodomésticos, Coordenadas: 6° 46' 57,72" S e 38° 08' 03,71" O.

4.8.2 Vulnerabilidade econômica

Na economia e exploração agrícola do município destaca-se em primeiro lugar a cultura do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) com uma área de 1600 hectares, garantindo uma produção anual de 36 milhões de frutos, quase todos comercializados em estados do Sudeste e Centro-sul do país. Esse faturamento de R\$ 10,8 milhões, situa Sousa na 15ª posição entre as regiões produtoras Brasil. Seguindo essa tendência, a bananeira (*Musa* spp.) é a segunda cultura de expressão no município, ocupa uma área de 545 hectares com uma produção de 19.075 toneladas (IBGE, 2011). Essas culturas apresentam grande potencial para exploração com retorno econômico satisfatório, pela sanidade e qualidade dos frutos garantida pelo sabor e °Brix, resultantes da grande intensidade de insolação da região, o que faz do coco das Várzeas de Sousa ser comercializado nacionalmente. Corroborando com essa exploração, Sena (2011) enfatiza que o Nordeste possui nos seus perímetros de irrigação, clima e

localização geográfica com potencial para produzir mais e atingir níveis de produtividade mais satisfatórios, o que tornaria possível o maior acesso a mercados mais exigentes. Nesse sentido, produtores de alguns estados já identificaram este potencial, exportando por conta própria ou de forma intermediada através de grandes empresas, garantindo renda e divisas para a Região.

Com 29,51% a vulnerabilidade econômica global do projeto, classificada como média, reflete o tipo de exploração agrícola, trabalho, produção, comercialização, fontes de crédito e renda. A exploração agrícola, embora incipiente por razões dos problemas de gestão, retrata o potencial que o projeto apresenta, assegurando a viabilidade econômica da atividade agrícola nessa área, como se pode observar com as produções alcançadas tanto nos lotes de agricultura familiar, quanto nos lotes empresariais para o ano de 2011 (Quadros 4.1 e 4.2).

Quadro 4.1. Área e produções alcançadas nos lotes explorados com agricultura familiar no Perímetro Irrigado Várzeas de Sousa no ano de 2011.

Culturas	Área (ha)	Produção (t)	Valor bruto estimado da produção (R\$)	Sistema de irrigação
Banana pacovan ¹	160	9.600	5.901.639,34	Microaspersão
Banana nanica	80	5.600	1.400.000,00	Microaspersão
Banana maçã	5	300	234.782,61	Microaspersão
Coco anã	320	240	80.000,00	Microaspersão
Manga	7	175	262.500,00	Microaspersão
Goiaba	10	62	9.375,00	Microaspersão
Mamão	3	75	67.500,00	Microaspersão
Melancia	10	200	250.000,00	Microaspersão
Pimentão	3	90	81.000,00	Microaspersão
Berinjela	3	120	96.000,00	Microaspersão
Abóbora	20	600	900.000,00	Microaspersão
Abobrinha	5	125	187.500,00	Microaspersão
Macaxeira	15	375	450.000,00	Microaspersão
Milho ²	40	160	96.000,00	Aspersão
Feijão macassar ²	15	25,5	59.500,00	Microaspersão
Ovinos	-	1,5	10.752,00	-
Total	696	17.749,54	10.086.548,95	-

Fonte: Adaptado da SEDAP (2011).

(¹) 150 hectares da cultura da banana estão consorciados com a cultura do coco.

(²) 50 hectares são trabalhados em sistema de rotação com culturas temporárias.

Quadro 4.2. Área e produções alcançadas nos lotes empresariais no Perímetro Irrigado Várzeas de Sousa no ano de 2011.

Culturas	Área (ha)	Produção (t)	Valor bruto estimado da produção (R\$)	Sistema de irrigação
Romã	70	5	17.500,00	Microaspersão
Goiaba	14	62	9.375,00	Microaspersão
Arroz vermelho	28	112	560.000,00	Superfície
Arroz negro	7,5	16,5	165.000,00	Superfície
Milho	10	40	24.000,00	Aspersão
Milho	700	2.100	1.260.000,00	Nenhum (sequeiro)
Algodão	470	1.880	3.384.000,00	Pivô Central
Sorgo granífero	4	9,2	4.600,00	Aspersão
Sorgo granífero	100	150	75.000,00	Nenhum (sequeiro)
Capim	30	-	-	Aspersão
Ovinos	-	4,8	33.600,00	Microaspersão
Total	1.433,5	4.380	5.533.075,00	-

Fonte: Adaptado da SEDAP (2011)

Essa expectativa de geração de renda entre produtores familiares do projeto, fez com que, a cultura do coco e da banana ganhassem espaço para exploração, embora o projeto tenha sido concebido visando uma exploração diversificada. Assim, destaca-se atualmente em termos de área plantada as culturas do coco com 46% e da banana com 35,2%, sendo exploradas, também, as culturas do algodão, milho, feijão, melancia, jerimum, goiaba, e manga. Embora a exploração frutícola diversificada possa garantir maiores nichos de mercado Matthiesen et al. (2003) se reporta a banana como a fruta tropical mais consumida do País, onde o consumo *per capita* de 7,68 kg/ano é bem superior ao da laranja, a segunda mais consumida, com 5,43 kg/ano. Seguindo a tendência nacional, a banana é a fruta mais consumida no Nordeste, sendo o consumo *per capita* de 7,97 kg/ano, dando margem e deixando a situação confortável quanto à expansão dessa frutífera (Figura 4.26).

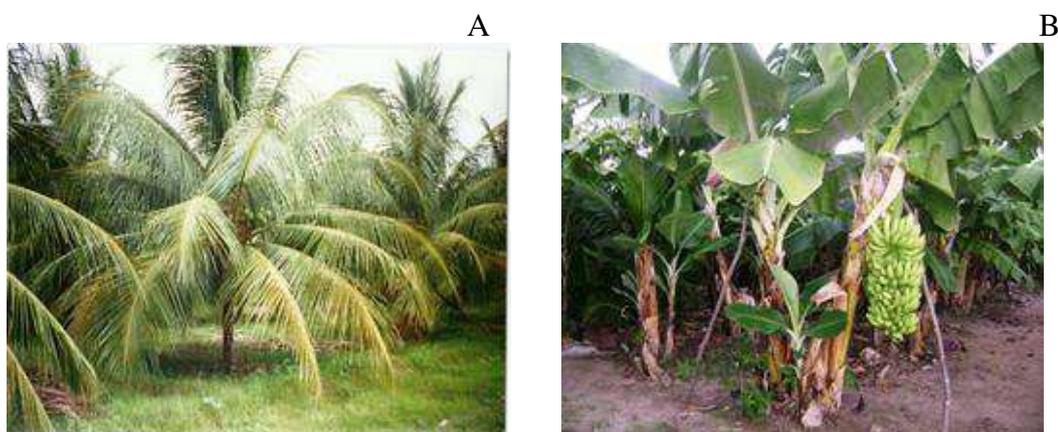


Figura 4.26. Exploração de culturas em lotes agricultura familiar: A) coco. Coordenadas: 6° 48' 35,24" S e 38° 08' 17,48" O. B) banana. Coordenadas: 6° 48' 37,51" S e 38° 08' 18,04" O.

Registra-se por meio da Associação dos Produtores Irrigantes das Várzeas de Sousa – APIVAS, composta por oito famílias, um novo nicho de oportunidades, são as explorações de hortaliças orgânicas. A exemplo, em conversa com o produtor familiar Ednaldo José do Nascimento do setor 6 lote 5, com uma área de 5 hectares das quais 3,0 são exploradas com hortaliças, ele afirma: *“pra mim é retorno econômico garantido, emprego sete membros da família e ainda tenho uma renda mensal líquida em torno de três salários mínimos”* (Figura 4.27). Os produtos possuem o selo de certificação de qualidade como produto orgânico do Instituto Biodinâmico (IBD) abastecendo o comércio local e outras cidades como João Pessoa e Recife-PB. Atualmente, por meio de parceria com a Fazenda Águas de Tamanduá (lote empresarial 06, do PIVAS), alcançam o mercado nacional comercializando seus produtos com a empresa Rio de Una, sediada em São José dos Pinhais - PR. Esse relato fortalece a agricultura familiar contradizendo estudos desenvolvidos por Guanziroli et al. (2001), os quais atrelam o agricultor familiar a dependência de rendas extras, tais como: aposentadorias, bolsa família e vendas de serviços para atividades não agrícolas.



Figura 4.27. Exploração de hortaliças em sistema de produção orgânico no setor 06 lote 05, com a participação da família. Coordenadas: 6° 48' 36,96" S e 38° 08' 27,19" O.

É importante destacar o valor de produção obtida nos lotes explorados com a agricultura familiar e dos lotes empresariais. Portanto, observa-se no Quadro 4.3, uma relação inversa embora a área explorada por lotes empresariais ocupem 67,3% da área, ou seja, ocupam o dobro da área explorada pela agricultura familiar que é de 32,7%, o maior valor de produção concentrou-se nos produtores familiares na mesma proporção da relação. Salienta-se que os lotes empresariais algumas vezes, funcionam como empresa âncora para os agricultores familiares na comercialização de parte de seus produtos. Damasceno (2011) endossa essa relação, quando afirma que a agricultura familiar exerce um papel fundamental no desenvolvimento social e no crescimento equilibrado do País. Os milhões de pequenos produtores que compõem a agricultura familiar fazem dela um setor em expansão e de vital importância para o Brasil. Todos os anos, a agricultura familiar movimenta bilhões de reais no País, produzindo a maioria dos alimentos que são consumidos nas mesas brasileiras. Além disso, contribui para a criação de empregos, geração, distribuição de renda e diminuição do êxodo rural.

As áreas do Assentamento Nova Vida I reservam-se, ainda, as explorações feitas por ocasião do inverno, ou seja, agricultura de sequeiro, prevalecendo às culturas de subsistência como feijão, jerimum e milho, onde 88% das famílias não vendem suas produções, comercializando apenas 12% da produção.

Quadro 4.3. Produção e valor bruto da produção por categoria de irrigante em relação à área ocupada em 2011.

Categoria de Irrigante	Área* (ha)	Produção (t)	Valor Bruto da Produção (R\$)	Valor Bruto da Produção (%)
Lotes empresariais	1.433	4.380,0	5.533.075,0	35,42
Lotes agricultores familiares	696	17.749,5	10.086.548,9	64,58
TOTAL	2.129	22.129,5	15.619.623,95	100,00

Fonte: SEDAP (2011)

Ressalta-se, também, as explorações e produtividades dos lotes empresariais administrados pela Empresa Mocó Agropecuária Ltda, onde a forma diversificada de produção e manejo orgânico vem preservando o solo, mudado a feição da paisagem e modo de vida de diversos trabalhadores rurais, sendo explorados, *Psidium guajava* L. (goiaba), *Mangifera indica* L.(manga), *Punica granatum* L. (romã), *Cucurbita* spp (jerimum), *Oryza sativa* L. (arroz vermelho) e outras culturas sazonais. O lote empresarial da Empresa Santana Algodoeira Ltda, segue a linha do cultivo convencional com manejo tecnificado e a prática da

rotação de culturas, tais como: *Zea mays* L. (milho), *Sorghum bicolor* L. (sorgo), *Gossypium hirsutum* L. (algodão). Estas empresas são detentoras de produções satisfatórias na região e contribui na absorção de mão-de-obra, geração de renda e emprego (Figura 4.28).



Figura 4.28. Absorção de mão de obra para os tratos culturais no final do ciclo da cultura do algodão lote 07. Coordenadas: 6° 46' 55,38" S e 38° 09' 15,75" O.

Observa-se que, no geral, tanto nos lotes empresariais quanto nos lotes destinados ao produtor familiar, praticamente não são utilizados animais de trabalho, sendo o preparo da terra e plantio feitos manualmente ou com uso de máquinas.

Não foram mencionados no projeto animais de produção, destinando-se possivelmente a uma exploração totalmente agrícola. Porém, essa atividade reserva-se as famílias da área do assentamento Nova Vida I, com a criação de 68,5% de aves, 22,2% de vacas e 9,3% de garrotes. Segundo relato esses animais servem de suporte financeiro no período da entressafra e na alimentação, principalmente, no leite para as crianças.

Quanto à venda da produção agrícola, embora os agricultores familiares do projeto tenham se organizado em associações a exemplo da Associação dos Produtores Irrigantes das Várzeas de Sousa - APIVAS; Associação dos Produtores das Várzeas de Sousa - APROVARZEAS e Associação Rural dos Produtores de Fruticultura Irrigada das Várzeas de Sousa - ARPFIVS, observam-se ainda uma comercialização tímida, detendo apenas 17,4% da produção, enquanto 37% são feitos por meio de atravessadores, 10,9% vendem diretamente para agroindústria e 28,3% diretamente ao consumidor.

Quanto ao uso das fontes de crédito, que garantem o custeio das produções na área do PIVAS 56% usam o banco oficial, 8% o banco particular e 36% trabalham com seus próprios recursos. Enquanto no assentamento Nova Vida I 40% das famílias trabalham com bancos

oficiais (Crediamigo - Programa de Microcrédito Produtivo Orientado do Banco do Nordeste) e outros 40% não fazem empréstimo, 4% recorrem a bancos particulares, enquanto 16% recorrem aos agiotas.

Em geral, observa-se que a principal fonte de renda advém da propriedade com 56,8%, complementados por programas sociais como bolsa família 25% e aposentadorias 18,2%. Salienta-se as articulações com os programas agrícolas como o seguro safra e o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar - PRONAF. Nas áreas do assentamento constataram praticamente duas fontes de renda, a mais expressiva é oriunda da bolsa família com 51,2% seguida de 41,9% da venda do excedente da produção agrícola e pecuária e 7,0% das aposentadorias (Figura 4.29).

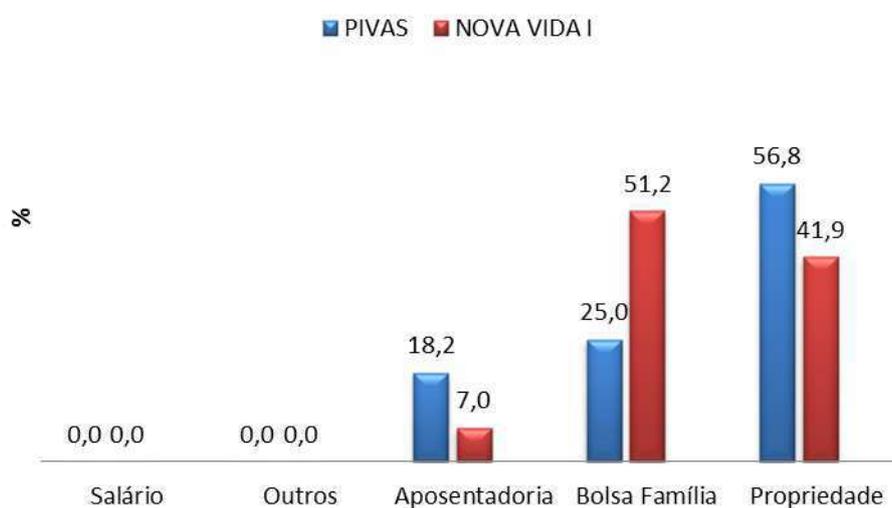


Figura 4.29. Formas de fontes de renda das famílias do Projeto Várzeas de Sousa-PB e do Assentamento Nova Vida I.

4.8.3 Vulnerabilidade tecnológica

Embora a análise dos questionários aponte que todos os ocupantes da área são proprietários dos seus lotes, e que os lotes empresariais adotam uma tecnologia de serviços mais avançada à vulnerabilidade tecnológica global, manteve-se com 33,12% ocupando uma classe alta. Mesmo com tendências de que num espaço curto de tempo, possivelmente, possa ocupar uma classe média ou boa, uma vez que, segundo relato dos produtores a implantação do distrito de irrigação fortalecerá as associações, com suporte de assistência técnica, financiamentos, dentre outros benefícios, modificando o quadro atual. Hoje, 56% fazem o uso de algum tipo de máquinas agrícolas e 36% fazem o trabalho totalmente manual, enquanto

12% fazem o uso de animais. Já na área do assentamento todo o trabalho é feito manualmente ou com animal com 68% e 32%, respectivamente.

Quanto às práticas de uso do solo, 52,9% plantam em nível, 38,2% fazem rotação de cultura e 8,9% não responderam, estes requisitos são de fundamental importância para a sustentabilidade do projeto, em razão da susceptibilidade destes solos a salinização e sodificação. A busca por um novo rural prevê a capacitação no campo e adoção de novas tecnologias, embora muitas barreiras precisem ser vencidas, Paz et al. (2000) mencionam que as diferenças socioeconômicas regionais, os recursos naturais, as condições edafoclimáticas, a distribuição das áreas irrigadas no Brasil ocorre de forma desigual, e daí os métodos e/ou sistemas de irrigação utilizados, os quais dependem, dentre outros fatores, do nível tecnológico compatível e acessível economicamente ao produtor, precisam ser avaliados.

No Assentamento Nova Vida I, 66,7% praticam a agricultura de subsistência e fazem rotação de cultura, 7,4% plantam em nível e 25,9% não responderam. Essas deficiências das práticas de manejo no uso dos solos, bem como a adoção de práticas conservacionistas podem ser explicadas, possivelmente, pela pouca assistência técnica e extensão rural recebida, onde apenas 32% dos agricultores familiares do PIVAS possuem ocasionalmente, enquanto 68% não possuem de nenhuma forma. No assentamento Nova Vida I, ocorre a total ausência de assistência técnica. Há dezoito anos, Souza (1994), em estudos sobre a Agricultura Irrigada e Desenvolvimento Sustentável no Nordeste do Brasil, relata que a assistência técnica pública é extremamente precária, por falta de definição de prioridades, por manipulação política, por ausência de programas de treinamento, capacitação e por falta de renovação de pessoal, como bem se evidencia neste estudo. Enquanto, Ash et al. (2010) atentam para a necessidade do estabelecimento de uma agricultura sustentável, que preserve o meio ambiente e proporcione segurança alimentar futura, sendo este um fator primordial para o desenvolvimento da humanidade ante as mudanças climáticas e o declínio das reservas energéticas não renováveis. Diante das previsões de crescimento populacional mundial, atingindo nove bilhões de habitantes em 2050, o que só será possível com o uso de tecnologias e assistência técnica.

4.8.4 Vulnerabilidade ambiental

Embora as áreas em estudo façam parte do semiárido com chuvas irregulares, a sua vulnerabilidade ambiental global foi de 29,6%, sendo classificada como média. Esse valor é justificado tanto pela localização do projeto, o qual se encontra inserido entre dois grandes rios perenes o Piranhas e o Peixe, quanto em razão do seu abastecimento hídrico ser feito a

partir da captação no açude Coremas-Mãe D'água. A água é conduzida por meio do Canal Adutor (Canal da Redenção), com 37 km de extensão e capacidade de vazão de 4m³/s. Sua estrutura hídrica é composta por reservatório de compensação; canal de interligação; subestação elétrica; estação de bombeamento, bombas de recalque, quadros elétricos de comando, mesa de controle com sistema manual e de automação entre outras ferramentas, sendo a água distribuída por meio de tomadas d'água em todos os lotes.

Dessa forma, é assegurada água para as atividades agrícolas e consumo animal durante todo o ano, razão pela qual não fazem o racionamento de água, além da falta de orientação e conhecimento de que a água é um bem finito. Nesse pressuposto, uma preocupação deve-se ter em mente, a sustentabilidade do empreendimento, Paz et. al., (2000) partilhando dessa necessidade, diz que a importância do uso eficiente da água, obviamente, varia de região para região e de época para época; por exemplo, em regiões áridas e semiáridas a necessidade de água é maior que em regiões úmidas; portanto, os custos, os benefícios e o uso propriamente dito da água, devem ser considerados; além disso, os fatores de ordem econômica e social também são importantes e, em muitos casos, a educação tem levado à conservação e ao melhor uso da água disponível.

No Assentamento Nova Vida I como já foi anteriormente abordado a vulnerabilidade ambiental é de 73,64%, possivelmente, em razão das condições inóspitas em que as famílias vivem. Outro fator é o suprimento de água para consumo humano ser feito por meio de carros pipa, enquanto para o consumo animal e uso doméstico a captação de água é feita por meio dos poços artesianos existentes na área. Salienta-se que os entrevistados não relataram experiências vividas em períodos de seca nem tão pouco fazem experiências sobre a previsão do tempo. Nas áreas próximas ao assentamento as espécies nativas da caatinga estão sendo gradativamente dizimadas tanto para expansão da área agrícola quanto para uso da lenha como energético, embora existam esforços para salvaguardar essa vegetação por meio de fiscalização da Secretaria de Estado do Desenvolvimento da Agropecuária e da Pesca - SEDAP, articulada à gerência do projeto, tendo mantido dentro da área do PIVAS 1.267,18 hectares de reservas legal e 206,37 de preservação permanente, enquanto 405,84 hectares foram destinados à infraestrutura e corredores da fauna.

Do exposto, as informações aqui apresentadas visam, sobretudo, enfatizar a importância da sustentabilidade dos compartimentos ambientais, destacando os indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo, e a preservação da diversidade biológica como condição indispensável para a manutenção do sistema agrícola produtivo e das condições socioeconômicas do produtor familiar.

5. CONCLUSÕES

A qualidade dos Vertissolos sob uso agrícola será mantida por meio do monitoramento de um conjunto mínimo de indicadores físicos e químicos, como: densidade do solo ($1,0 \leq Ds \leq 1,3 \text{ g cm}^{-3}$), porosidade total ($0,40 \leq Pt \leq 0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), resistência à penetração ($1,0 \leq RP \leq 2,5 \text{ Mpa}$), teor de matéria orgânica ($MO > 40 \text{ g kg}^{-1}$) e capacidade de troca de cátions ($CTC > 10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

O sistema de manejo convencional apresenta indícios de compactação do solo para a camada de 0,20 – 0,40 m, com valores de resistência à penetração de 2,13 Mpa e o sistema de manejo orgânico assemelha-se ao sistema de manejo da caatinga ambos apresentando melhores condições dos atributos físicos do solo quando comparados ao sistema de manejo convencional. No entanto, os atributos químicos foram pouco afetados pelo uso do solo para os três sistemas de manejo.

A análise temporal do período de 1998 a 2011 mostrou que 86% dos totais pluviais se precipitam entre quatro a cinco meses. Embora o ano de 1998 tenha sido marcado por uma seca e 2011 por um bom inverno, essa típica irregularidade climática não interferiu nos estratos e na densidade da vegetação encontrada. Verificando-se que o Projeto de Irrigação Várzeas de Sousa-PB promoveu uma dinâmica da cobertura vegetal com modificações nos estratos da caatinga ocorrendo um decréscimo das áreas cobertas por vegetação densa e rala, de 70,32% e 37,47%, respectivamente, e de 54,73% nos solos expostos diminuindo os riscos à degradação desses solos pela erosão. Ressalta-se no período uma expansão agrícola de 303%, essa mudança potencializou alguns impactos negativos como perda da diversidade biológica da caatinga, salinização, sodificação e degradação do solo, entretanto atenuou os problemas socioeconômicos, pela fixação de moradia, geração de alimentos, emprego e renda.

As vulnerabilidades socioeconômicas e ambientais das famílias do Projeto de Irrigação das Várzeas de Sousa foram classificadas como média, entretanto, a vulnerabilidade tecnológica foi considerada alta com 33,12%, refletindo a carência da assistência técnica e práticas conservacionistas para a sustentabilidade do empreendimento. Enquanto o Assentamento Nova Vida I apresentou alta vulnerabilidade econômica (68,1%), social (61,24%), tecnológica (72,73%) e ambiental (73,64%), em consequência das condições inóspitas em que as famílias estão sujeitas quando comparadas as vulnerabilidades do Projeto de Irrigação das Várzeas de Sousa.

A implantação de perímetros irrigados faz toda a diferença no semiárido com relação às vulnerabilidades socioeconômicas, tecnológicas e ambientais em razão da redução da migração para áreas urbanas, a geração de empregos e fortalecimento da economia local, organização dos produtores, formação de associações e impacto positivo no volume de alimentos produzidos.

6. MEDIDAS MITIGADORAS

Recomenda-se, em curto prazo, a gestão de planos de assistência técnica, uso e manejo dos solos, recursos hídricos e políticas de financiamento agrícola com fins de manter a sustentabilidade do projeto e desenvolvimento socioeconômico das famílias.

Por se tratar de solos de textura muito argilosa recomenda-se o preparo do solo observando-se as condições ideais de umidade e friabilidade dos solos, ou seja, quanto maior o teor de umidade do solo mais tempo ele permanecerá com a consistência plástica e pegajosa e maior será a dificuldade de trabalho, pois o solo tenderá a aderir aos implementos agrícolas. Se o solo estiver muito seco, suas partículas ficam muito duras e firmes formando torrões que dificultam a incorporação de adubos ao solo, bem como a germinação das sementes.

A cada ciclo de exploração agrícola fazer o monitoramento dos níveis de salinidade do solo, manejo dos restos culturais e resteva, incorporando ou deixando a matéria orgânica na superfície, bem como proceder à alternância dos implementos no preparo do solo a diferentes profundidades e mecanismos de corte.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOVAY, R. O capital social dos territórios: repensando o desenvolvimento rural. **Economia Aplicada**, v. 4, n 2, p. 379-397. 2000.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Precipitações Pluviométricas de 1998 a 2011**. Posto Pluviométrico Sousa - São Gonçalo: Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/monitoramentoPluviometria.do?metodo=listarMesesChuvasMensais>> Acesso em: 25 abr. 2012.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.; SUZUKI, L.E.A.S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.4, p.617-625, 2007.

ANDERS, M.M.; SCHMID, B.; OLK, D.C. Short and long term effects of conservation tillage on soil resistance and aggregate stability in rice production systems. In: BUSSCHER, W.; FREDERICK, J. SOUTHERN CONSERVATION TILLAGE SYSTEM CONFERENCE, 27., Florence, 2005. **Proceedings Florence**: Clemson University, p.102-110, 2005.

ANDRADE, L.A.; PEREIRA, I.M.; LEITE, U.T.; BARBOSA, M.R.V. Análise da cobertura de duas fisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba. **Revista Cerne**, Lavras MG, v.11, p. 253-262, 2005.

ARAÚJO FILHO, J.A.; CARVALHO, F.C. Desenvolvimento sustentado da caatinga. In: ALVAREZ V.; V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Eds). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG, SBCS/UFV/DPS, p.125-133. 1996.

ARAÚJO, A.E. de. Construção social dos riscos e degradação ambiental: Município de Souza, um estudo de caso. 2002. 122 p. Campina Grande: Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande.

ARAÚJO, A.E. de; BARBOSA, M.P.; MORAES NETO, J.M. de. Geoprocessamento no estudo de degradação ambiental e dos riscos a desastres no Município de Sousa, Paraíba, desde uma perspectiva social. In: Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003, p. 1715-1724.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

ARAÚJO, M.S.B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SAMPAIO, E.V.S.B. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 259-268, 2004a.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p.1099-1108, 2007.

ASH, C.; JASNY, B.R.; MALAKOFF, D.A.; SUGDEN, A. M. Feeding the future. **Science**, v. 327, p.797, 2010.

AUDEH, S.J.S.; LIMA, A.C.R.; CARDOSO, I.M.;JUCKSCH, I.; MATIESKI, T. **Avaliação etnopedológica e sua relação com características do solo em propriedades agrícolas familiares produtoras de fumo orgânico.** Congreso en Co-Innovación de Sistemas Sostenibles de Sustento Rural.Uruguai, p. 203-206. 2010.

AZEVEDO, E. de. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso.** 2004. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BAMBERG, A.L.; PAULETO, E.A.; GOMES, A. da S.G.; TIMM, L.C.; PINTO, L.F.S.; LIMA, A.C.R. de; SILVA, T.R. da. Densidade de um Planossolo sob sistemas de cultivo

avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n.5, p. 1079-1086. 2009.

BARBOSA, M.P. **Vulnerabilidade de risco a desastre**. Apostila, Campina Grande, DEAg/UFPB. 1997. 87p.

BARBOSA, M.P.; FERNANDES, M.F.; SILVA, M.J. da; GUIMARÃES, C.L.; COSTA, I.C. da. **Diagnóstico socioeconômico ambiental da APA Chapada do Araripe**: Ceará, Pernambuco e Piauí. ATECEL, Campina Grande, 2005. (Relatório Final).

BARBOSA, M.P.; SINGHROY, V.; SAINT-JEAN, R. Mapping coastal erosion in Southern Paraíba, Brazil from RADARSAT-1. Canadian Aeronautics and Space Institute. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Ottawa, v. 25, n. 3, p. 323-328, 1999.

BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.J.; INÁCIO, E.S.B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n.4, p. 1471-1478, 2008.

BARRIOS, E.; TREJO, M.T. "Implications of local knowledge for integrated soil management in Latin America". **Journal Geoderma**, v. 111, n. 3, p. 217-231. 2003.

BENATTI, J.H. O meio ambiente e os bens ambientais. In: RIOS, A.V.V.; IRIGARAY, C.T. H. (Orgs.). **O direito e o desenvolvimento sustentável: curso de direito ambiental**. São Paulo: Peirópolis; Brasília, DF, IEB, p. 205-243. 2005.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação em um latossolo vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, n.3, p.681-691, 2010.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; LEONEL, C.L.; SÃO JOÃO, A.C.G.; FREDDI, O.S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e

da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n.6, p.1223-1232, 2007.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G. **Resistência à penetração em Latossolos: limitante à produção de grãos de soja.**In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003. **Goiânia**. Resumo expandido. Goiânia, CONBEA, 2003. CD-ROM.

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. **I. Levantamento exploratório de reconhecimento dos solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, 1972. 683p. (Boletim Técnico, 15; SUDENE. Série Pedologia, 8).

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Projeto Várzeas de Sousa, na Paraíba, aproveita os recursos hidroagrícolas existentes na região**. Disponível em:<<http://www.integracao.gov.br/comunicacao/noticias/noticia.asp?id=3113>>. Acesso em: fev. 2011.

BRECHT, H. The application of geo-technologies after hurricane Katrina. In: NAYAK, S.; ZLATANOVA, S. (Ed.). **Remote sensing and GIS technologies for monitoring and prediction of disasters**. Berlin: Springer-Verlag, 2008. p. 25-36.

BRUGGEN, A.H.C.; SEMENOV, A.M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.15, n.1, p.13-24, 2000.

BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Ed.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 30 set. 2010.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1996, 36 p. Relatório do INPE.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Causas da compactação do solo**. 2006. Disponível em:<<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm>>. Acesso em:15 out. 2011.

CARDOSO, E.L.; OLIVEIRA, H., PELLEGRIN, L.A.; SPERA, S.T.; SPERA, M.R.N. **Solos do Assentamento Paiolzinho, Corumbá - MS**: caracterização e potencial agrícola. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. 28 p. il. - (Embrapa Pantanal. Documentos, 32).

CARDOSO, E.L; SILVA, M.L.N; MOREIRA, F.M. de S; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 6, p. 631-637, 2009.

CARNEIRO, C.E.A.; JÚNIOR, N.J.M.; AZEVEDO, M.C.B.; ANDRADE, E.A.; KOGUISHI, M.S.; DIEHL, R.C.; RICCE, W.S.; PASSARIN, A.L.; VAZ, R.H.M.; STELMACHUK, T.L.L.; GUIMARÃES, M.F.; RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um latossolo vermelho eutroférico Total organic and residual carbon contents of oxissol under diferents crop systems. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v. 30, n. 1, p. 5-10, 2009.

CARNEIRO, S.M.M. Fundamentos epistemo-metodológicos da educação ambiental. **Educar**, Curitiba, n. 27, p. 17-35, 2006.

CARVALHO, M.A.C.; ATHAYDE, M.L.F.; SORATTO, R.P.; ALVES, M.C.; SÁ, M.E. Adubação verde e sistemas de manejo do solo na produtividade do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.12, p.1205-1211, 2004.

CASALINHO, H.D. Qualidade do solo em sistemas de produção de base ecológica: a percepção do agricultor. Congresso Brasileiro de Agroecologia 2. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, RS, v.2, n.1, 2007.

CAVENAGE, A.; MORAES, M.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, n. 04, p. 997-1003, 1999.

CHAVES, L.H.G.; MENINO, I.B.; ARAÚJO, I.A.; CHAVES, I.B. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB**, v. 2, n. 03, p. 262-267, 1998.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Revista ITEM: Irrigação e Tecnologia**. Brasília, DF, n. 49, p. 8-13, 2001.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. e KAISER, D.R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n.3, p. 933-942, 2008.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. e KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n.11, p.1663-1674, 2006.

Consulta Dados da Estação Convencional: SÃO GONÇALO (PB). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/dspDadosCodigo.php?ODI2ODk>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

CONTI, J.B. **As relações sociedade/natureza e os impactos da desertificação nos trópicos**. Cadernos Geográficos. UFSC, Florianópolis: Imprensa Universitária, 2002.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; RUIZ, H.A.; MENDONÇA, E.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, n.2, p. 311-324, 2003.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p. 1185-1191. 2006.

COSTA, T.C.C.; OLIVEIRA, M.A.J. de; 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**. [online]. v.13, suppl., p. 961-974, ISSN 1807-1929, 2009.

CREMON, C.; SACCO, D.; GRIGNANI JÚNIOR, C.E.J.R.; MAPELI, N.C. Micromorfometria de agregados do solo sob diferentes sistemas de cultivo de arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v.41, n.3, p. 370-377, 2011.

CUTTER, S.L. **GI Science, Disaster, and Emergency Management**. Transactions in GIS, v. 7, n. 4, p. 439-445, Oct. 2003.

DAMASCENO, N.P.; KHAN, A.S.; LIMA, P.V.P.S. O impacto do Pronaf sobre a sustentabilidade da agricultura familiar, geração de emprego e renda no Estado do Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**[online], v.49, n.1, p. 129-156, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - DMN. **Normais climatológicas (1998-2010)**. Sousa, PB: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, 2010. 54 p. (Relatórios Mensais).

DÍAZ-RAVIÑA, M.; BUENO, J.; GONZÁLEZ-PRIETO, S.J.; CARBALLAS, T. Cultivation effects on biochemical properties, C storage and ¹⁵N natural abundance in the 0-5 cm layer of an acidic soil from temperate humid zone. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.84, n.2, p.216-221, 2005.

DURAN, A. **Los suelos del Uruguay**. Montevideo: Ed. Emisferio Sur., 1991, 400 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.412 p.

EMPRESA ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DA PARAÍBA - EMEPA. **Projeto Várzeas de Sousa**: Posição do desmatamento dos setores, IV e LE-02. Sousa, PB. 2006. 9 p. (Relatório Técnico).

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. 1989. 425 p. (Embrapa CNPAF. Documentos, 18).

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, n.6, p.1097-1104, 2003.

FARIA, C.M.B. de; SILVA, M.S.L. da; SILVA, D.J. **Alterações em características de solos do Submédio São Francisco sob diferentes sistemas de cultivo**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. 33 p. (Embrapa Semi-Árido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 74).

FONSECA, G.C.; CARNEIRO, M.A. C.; COSTA, A.R.; OLIVEIRA, G.C.; BALBINO, L.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 37, n. 1, p 22-30, 2007.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; ARATANI, R.G.; LEONEL, C.L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 627-636, 2007.

GALINDO, I.C. de L.; RIBEIRO, M.R.; SANTOS, M. de F. de A.V.; LIMA, J.F.W.F.; FERREIRA, R.F. de A.L. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n.3, p. 1283-1296, 2008.

GENÚ, P.J.C; PINTO, A.C.Q. (Eds.). **A cultura da mangueira**. Brasília, DF: Embrapa, 2002. 454 p.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005, 653 p.

GOEDERT, W.J. Qualidade do solo em sistemas de produção agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CHILD, G.I.; DUEVER, M.J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. Tradução de Eurípedes Malavolta, São Paulo, EPU - Editora da Universidade de São Paulo, 1978. 256 p.

GOMES, F.P. **Curso de Estatística Experimental**. 8 ed. rev.amp. Piracicaba, SP, Nobel, 466p. 1995.

GOMES, A. da S. et al. **Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 40p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 169).

GONCALVES, A.C.A.; TRINTINALHA, M.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V. Influência da densidade do solo na estimativa da umidade em um nitossolo vermelho distroférico, por meio da técnica de TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.35, n.5, p. 1551-1560. 2011.

GONZÁLEZ-GAUDIANO, E. Interdisciplinaridade e educação ambiental: explorando novos territórios epistêmicos. In: SATO, M.; CARVALHO, I. **Educação ambiental: pesquisa e desafios**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

GUANZIROLI, C.E.; ROMEIRO, A.R.; BUAINAIN, A.M.; DI SABBATO, A.; BITTENCOURT, G.A. **Agricultura familiar e reforma agrária no século XXI**. Rio de Janeiro: 288 p. 2001.

GUERRA, P. de B. **A civilização da seca: o Nordeste é uma história mal contada**. Fortaleza: DNOCS, 1981.

GUIMARÃES, R. La sostenibilidad del desarrollo entre Rio-92 y Johannesburgo 2001: eramos felices y no sabíamos. In: **Ambiente e Sociedade**, Campinas: Nepam, 2001, n. 9, p. 5-24.

IBGE. **Lavouras permanentes 2011**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php>>. Acesso em: 26 nov. 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Populacional 2010**. 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Brasília, DF: 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 03 jun. 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2004-2009**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 dez. 2011.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Manual do Usuário SPRING**. São José dos Campos: 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

JACOBI, P.R. Educar na sociedade de risco: o desafio de construir alternativas. **Pesquisa em Educação Ambiental** [online], v. 2, n. 2, p. 49-65, 2007.

JACOBSEN, O.H.; SCHJONNING, P.A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and texture. **Journal of Hydrology**, v.151, p.147-157, 1993.

JOHNSON, D.; BOOTH, R.E.; WHITELEY, A.S.; BAILEY, M.J.; READ, D.J.; GRIME, J.P.; LEAKE, J.R. Plant community composition affects the biomass, activity and diversity of microorganisms in limestone grassland soil. **European Journal Soil Science**, Oxford, v.54, n.4, p.671-677, 2003.

JOHNSON, W. M.; CADY, J.G. Characteristics and some brown grumusols of Arizona. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 27, p. 389-393, 1962.

JORDAN, D.; MILES, R.J.; HUBBARD, V.C.; LORENZ, T. Effect of management practices and cropping systems on earthworm abundance and microbial activity in Sanborn Field: a 115-year-old agricultural field. **Pedobiologia**, Jena, v.48, n.2, p.99-110, 2004.

KAMEYAMA, K.; MIYAMOTO, T. Measurement of solid phase permittivity for volcanic soils by time domain reflectometry. **European Journal of Soil Science**, v. 59, p.1253-1259, 2008.

KHAN, A.S.; NEIVA, A.C.G.R.; SILVA, L.M.R. Projeto São José e o desenvolvimento rural no Estado do Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural: SOBER**, v. 39, n. 3, p. 143-171, jul./set. 2001.

KIEHL, J.E. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KOHNKE, H. **Soil physics**. New York, McGraw-Hill, 1968. 224 p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150 cm x 200 cm.

KUKAL, S.S.; AGGARWAL, G.C. Puddling depth and intensity effects in rice-wheat system on a sandy loam soil. I: Development of subsurface compaction. **Soil and Tillage Research**, v.7, n. 2 p.1-8, 2003.

LACRUZ, M.S.P.; JÚNIOR, M.A.S. **Desastres naturais e geotecnologias: Sistemas de informação geográfica**. Santa Maria, RS: CRS/INPE, 2009. 28p. (CRS/INPE. Caderno Didático, 4).

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT (Bangkok, Thailand). **Evaluation for sustainable land management in the developing world**. 2 ed. Bangkok, IBSRAM, 1991.

LEFF, E. **Epistemologia ambiental**. Tradução de Sandra Valenzuela; revisão de Paulo Freire Vieira. São Paulo: Cortez, 2001. 240 p.

MACHADO, L. de O.R. Desflorestamento na Amazônia Brasileira: ação coletiva, governança e governabilidade em área de fronteira. **Sociedade e Estado**, Brasília, DF, v.24, n.1, p. 115-147, jan./abr. 2009.

MAMAN, A.P.; DA SILVA, C.J.; SGUAREZI, E.M.; BLEICH, M.E. Produção e acúmulo de serapilheira e decomposição foliar em mata de galeria e cerradão no sudoeste de Mato Grosso. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, MT, v.5, n.1, p.71- 84, 2007.

MARCELINO, E.V. **Desastres naturais e geotecnologias: Conceitos básicos**. Santa Maria: CRS/INPE, 2008. 20p.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F.R. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.

MATTHIESEN, M.L.; BOTEON, M. **Análise dos principais pólos produtores de banana no Brasil**. Piracicaba (SP): CEPEA/ESALQ, USP, 2003. 18 p. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/pdf/banana.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2012.

MOREIRA, A.A.; SOARES, V.P.; GLERIANI, J.M.; RIBEIRO, C.A.A.S. **Utilização de algoritmo de classificação para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG, a partir de uma imagem do sensor IKONOS II**. 2009.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2010.

MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. Tradução de Catarina Eleonora F. da Silva e Jeanne Sawaya. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: 2002.

MOTA, M.S.; CREMON, C.; MAPELI, N.C.; SILVA, W.M.; MAGALHÃES, W.A.; CREMON, T. Qualidade e atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico típico

em diferentes sistemas de manejo. **Revista Agrarian**, Dourados, MS, v. 4, n. 12, p. 105 -112, 2011.

NASCIMENTO, T. **Otimização do manejo de água sob irrigação localizada em fruteiras no Nordeste brasileiro**. Embrapa Semi-Árido. 2005. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/projeto/17199908201.html>>. Acesso em: 8 set. 2012.

NETTO, I.T.P.; KATO, E.; GOEDERT, W.J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.33, n.5, p.1441-1448, 2009.

NEVES, C.M.N. das; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; CARDOSO, E.L.; MACEDO, R.L.G.; FERREIRA, M.M.; SOUZA, F.S. de. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v.74, p.45-53, 2007.

NUNES, R.S.; LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G. de; MENDES, I.C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1407-1419, 2011.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.

PAULUS, G.; MULLER, A.M.; BARCELLOS, L.A.R. **Agroecologia aplicada: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica**. 2 ed. ver.ampl. Porto Alegre: EMATER/RS, 2001. 86 p.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONCA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online], v.4, n.3, p. 465-473. 2000.

PEDROTTI, A.; MELLO JÚNIOR, A.V.A. **Compactação do solo e a sua influência na sustentabilidade dos agroecossistemas**. Editora da UFS. São Cristovão - SE. 2009. 62 p.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA; HOLANDA, F.S.R.; CRUVINEL, P.E.; VAZ, C.M.P. Evaluation of bulk density of Albaqualf soil under different tillage systems using the volumetric ring and computerized tomography methods. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.80, p.115-123, 2005.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E.G.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Brasília, DF: SUPLAN; Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1978. 70p.

RAPER, R.L. Agricultural traffic impacts on soil. **J. Terramech.**, v. 42, p.259-280, 2005.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Department of Agriculture, 1954. 160p. Agriculture Handbook, 60

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.102, n. 2, p. 242-254, 2009.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 16, p.289-298, 1992.

RESENDE, S.C. **Sistemas de Manejo e sucessão de culturas na Qualidade do solo nos tabuleiros Costeiros Sergipano**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas - NEREN-UFS. 123p. 2009.

RICHARDS, L.A. Methods of measuring soil moisture tension. **Soil Science**, Madison, v.68, p. 85-112, 1949.

ROCHA, J.S.M. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997. 423 p.

SALES, L.E.O.; CARNEIRO, M.A.C.; SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; FERREIRA, M.M. Qualidade física de neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v.34, n.3, p. 667-674. 2010.

SAMPAIO, D.B.; ARAUJO, A.S.F.; SANTOS, V.B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v.32, n.2, p. 353-359, 2008.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SAMPAIO, Y. **Desertificação**: conceitos, causas, consequências e mensuração. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 2002. 85 p. (Documento, 1).

SANTANA, D.P. **A agricultura e o desafio do desenvolvimento sustentável**. Sete Lagoas, 2005 (Comunicado Técnico, 132).

SANTOS, M.F.A.V.; RIBEIRO, M.R.; SAMPAIO, E.V.S.B. Semelhanças vegetacionais em sete solos da caatinga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n.2, p. 305-314, 1992.

SAS INSTITUTE. **SAS system for Microsoft Windows**. Version 8.2. Cary, Statistical Analysis Systems, 2003.

SAUSEN, T.M.; MARCELINO, E.V.; MARCELINO, I.P.V.O.; SOUSA JUNIOR, M.A.; LACRUZ, M.S.P. Núcleo de aplicação e pesquisa de geotecnologias em desastres naturais e eventos extremos no Centro Regional Sul do INPE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; 13., 2007. **Anais...** Florianópolis:INPE, 2007, p. 4401-4403.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA E DA PESCA - SEDAP. **Perímetro Irrigado Várzeas de Sousa**. Tarifa de Água Capacidade de Pagamento e Impacto da Inadimplência. PROJETEC, 2007. 77 p.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA E DA PESCA - SEDAP. **Projeto Várzeas de Sousa: Estudo de Impacto Ambiental (EIA)**. João Pessoa, PB, 2001, 113 p.

SEMARH/EMEPA. **Estudos básicos de aproveitamento hidroagrícola das várzeas de Sousa**: Avaliação detalhada de solos. João Pessoa, PB: EMEPA-PB, 1998, v.1, 271p.

SENA, J.V.C. Aspectos da produção e mercado da banana no nordeste. **Informe rural ETENE**, v.5, n. 10, p.7, jul. 2011.

SILVA FILHO, E.B. **Coremas, seu lugar na história**. João Pessoa: Geografic, 1996.

SILVA, R.C.S.; ALMEIDA, J.C.R.; BATISTA, G.T.; FORTES NETO, P. Os indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais. **Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais**, p.1-13, 2011, Disponível em: <http://www.agro.unitau.br/dspace>. Acesso em: 3 de outubro de 2012.

SILVEIRA, M.M.L.; ARAÚJO, M.S.B.; SAMPAIO, E.V.S.B. Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 281-291, 2006.

SOUZA, H.R. **Agricultura Irrigada e Desenvolvimento Sustentável no Nordeste do Brasil**. Projeto Áridas, SEPLAN/PR, 1994.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; SOUZA, L.F.S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: Estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM.

SPERA, S.T.; CARDOSO, E.L.; MACEDO, J.R. de. **Sugestões para o uso e manejo de Vertissolo nos projetos de assentamento da região não inundável de Corumbá/MS**. Corumbá, MS: EMBRAPA-CPAP, 1993. 39p. il. (EMBRAPA-CPAP. Circular Técnica, 20).

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, Amsterdam, v.114, n. 3/4, p. 143-144, 2003.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.34, p. 755-760, 2004.

SUPERINTENDÊNCIA DE OBRAS DO PLANO DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO - SUPLAN. **Transposição das águas dos açudes Coremas/Mãe Água para as Várzeas de Sousa**. Fortaleza: AGROSOLOS, 1995. 3v.

SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.; REICHERT, J.M.; LIMA, C.L.R. Densidade restritiva ao crescimento radicular em função da argila. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, NOVOS DESAFIOS DO CARBONO DO MANEJO CONSERVACIONISTA, **Anais....** Aracaju, 2006.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TRANNIN, I.C. de B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. de S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biofósforo industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, n.5, p.1173-1184, 2007.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. das. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE. 1992. 61 p.

VERNETTI JUNIOR, F.J.; GOMES, A.S.; SCHUCH, L.O.B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.39, n.6, p.1708-1714, 2009.

8. ANEXOS