



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**CURSO DE DOUTORADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FRANCISCO BERGSON PARENTE FERNANDES**

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA A CULTURA DO FEIJÃO-DE-CORDA EM  
FUNÇÃO DO MANEJO DE SOLO NO SEMIÁRIDO CEARENSE**

**FORTALEZA – CEARÁ**

**2014**

FRANCISCO BERGSON PARENTE FERNANDES

DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA A CULTURA DO FEIJÃO-DE-CORDA EM  
FUNÇÃO DO MANEJO DE SOLO NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ph.D. Eunice Maia de Andrade – UFC

FORTALEZA - CEARÁ

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- F899d      Fernandes, Francisco Bergson Parente.  
Disponibilidade hídrica para a cultura do feijão-de-corda em função do manejo de solo no semiárido cearense / Francisco Bergson Parente Fernandes. – 2014.  
112 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2014.  
Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.  
Orientação: Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade.
1. Climatologia agrícola. 2. Trocas gasosas. 3. Água na agricultura. I. Título.

FRANCISCO BERGSON PARENTE FERNANDES

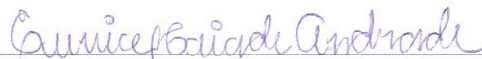
DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA A CULTURA DO FEIJÃO-DE-CORDA EM  
FUNÇÃO DO MANEJO DE SOLO NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovada em: 11 / 04 / 2014

BANCA EXAMINADORA



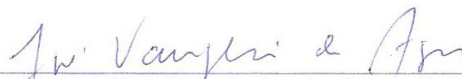
Prof.<sup>a</sup>. Ph.D Eunice Maia de Andrade (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará - UFC



Prof. Dr. Raimundo Nonato de Assis Júnior (Conselheiro)  
Universidade Federal do Ceará - UFC



Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Conselheiro)  
Universidade Federal do Ceará - UFC



Dr. José Vanglésio de Aguiar (Conselheiro)  
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE



Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes (Conselheiro)  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

À meus pais,  
Afrânio Gomes Fernandes e  
Isolda Parente Fernandes

OFEREÇO

A minha esposa Fernanda e filha Liana pela  
compreensão e carinho e a todos os professores e  
colegas da Universidade

DEDICO

“A Filosofia antiga que predominava era aquela de molhar o Nordeste. Modificar o ambiente para o homem se adaptar a ele. A história, a vida, os trabalhos e os estudos mostraram que é preciso preparar o homem para ele bem se adaptar àquela Região como ela é, e fazer ali uma civilização com as cores do ambiente”.

(Guimarães Duque)

## AGRADECIMENTOS

A Prof<sup>ª</sup>. Dra. Eunice Maia de Andrade pela confiança, apoio e orientação valiosa no desenvolvimento deste trabalho;

Aos Professores Raimundo Nonato de Assis Júnior, Claudivan Feitosa de Lacerda e Antônio Marcos Esmeraldo Bezerra pelo aconselhamento, críticas e sugestões apresentadas;

Ao colega José Vanglésio de Aguiar, pela amizade, compreensão e dedicada ajuda em todas as etapas desse trabalho;

Ao colega Barbieri (SEPLAG) pelo seu apoio na elaboração, processamento e extração dos dados da chuva através da confecção de rotinas de Script S.Q.L;

A todos os professores que participaram de minha formação durante o curso.

A todos os colegas de Mestrado e Doutorado que em todos os momentos colaboraram;

À Universidade Federal do Ceará, através do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida à realização deste curso;

À Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará pelo incentivo e cessão da área onde foi realizada a pesquisa de campo, com todo apoio logístico da Fazenda Normal;

Ao Banco do Nordeste do Brasil (BNB) pelo apoio financeiro concedido;

À Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), pelos dados da chuva disponibilizados e apoio dos colegas do Departamento de Meteorologia e Recursos Naturais;

Aos técnicos e trabalhadores de campo da Fazenda Normal na condução do experimento de campo;

Aos professores e técnicos dos Laboratórios (Física e Química do Solo) do Departamento de Solos da Universidade Federal do Ceará;

Aos professores e técnicos do Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará;

E finalmente a todos que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização e êxito deste trabalho.

## RESUMO GERAL

FERNANDES, F. B. P. **Disponibilidade hídrica para a cultura do feijão-de-corda em função do manejo de solo no Semiárido Cearense.** Orientadora: Eunice Maia de Andrade. Conselheiros: Raimundo Nonato de Assis Júnior; Claudivan Feitosa de Lacerda; José Vanglésio de Aguiar; Pedro Dantas Fernandes. Fortaleza: UFC. 111 f. (Tese). 2014.

A pesquisa teve como início, a coleta de dados climáticos para a geração de informações sobre a espacialização e a frequência dos veranicos, como base fundamental para o entendimento dos seus efeitos no armazenamento da água no solo, sob a intervenção de diferentes manejos; e, as respostas das plantas a estas variáveis na busca da redução da vulnerabilidade da agricultura de sequeiro às incertezas das condições climáticas do armazenamento da água cearense. O trabalho foi realizado no município de Quixeramobim, pertencente à região central do Estado do Ceará - representativa do semiárido cearense. Para gerar informações sobre a distribuição das classes de veranicos (nº de dias contínuos sem chuva) entre as regiões homogêneas do estado do Ceará e sobre as categorias de precipitações pluviométricas (anos secos, normais, chuvosos, muito secos e muito chuvosos) investigou-se uma série histórica pluviométrica de 39 anos de precipitações (fonte: Funceme). Foram estudadas as seguintes classes de veranicos (5-10 (1); 11-15 (2); 16-20 (3); 21-25 (4); 25-30 (5) e >30 (6)). Para se entender a resposta da cultura do feijão-de-corda aos veranicos instalou-se um campo experimental, composto por cinco manejos diferenciados de solo onde se investigou a umidade do solo durante todo o ciclo da cultura. As coletas de campo foram finalizadas com as medições das trocas gasosas foliares das plantas do feijão-de-corda, utilizando-se um IRGA modelo LI 6400. Os resultados mostraram que a região central e Inhamuns, bem como a Jaguaribana apresentaram veranicos mais prolongados, expressando uma maior vulnerabilidade agrícola dessas regiões ao regime pluviométrico. Os meses de fevereiro e maio mostraram-se como os de maior ocorrência dos veranicos. O manejo (subsolagem + captação in situ + cobertura do solo+ composto orgânico) mostrou-se, durante todo o ciclo do cultivo do feijão-de-corda como o de maior capacidade no armazenamento e retenção da água, principalmente, na ocorrência de veranicos. As respostas das plantas confirmaram os efeitos do manejo na maior capacidade de captar e reter a água disponível para as plantas por um maior período de tempo, aumentando o rendimento em relação aos demais tratamentos na ordem crescente (do primeiro ao quarto) de 41%; 28%; 47%, e 12%, respectivamente.

**Palavras-chave:** Semiárido. Veranicos. Vulnerabilidade. Armazenamento da Água. Trocas Gasosas. Rendimento.



## GENERAL ABSTRACT

FERNANDES, F. B. P. **Water availability for cowpea crops as a function of soil management in the semi-arid region of Ceará.** Leader: Eunice Maia de Andrade. Advisors: Raimundo Nonato de Assis Júnior; Claudivan Feitosa de Lacerda; José Vanglésio de Aguiar; Pedro Dantas Fernandes. Fortaleza: UFC. 113f. (Thesis). 2014.

The research was beginning to collect climate data in order to generate information on the specialization and frequency of dry spells as a basis for understanding their effects on water storage in soil under the intervention of different managements and on the responses of plants to these variables, in the search to reduce the vulnerability of rainfed agriculture to the climatic uncertainties of the semi-arid region of the state of Ceará, Brazil. The study was carried out in the municipality of Quixeramobim, in the central region of the state, which is representative of the semi-arid zone in Ceará. To generate information on the distribution of the classes of dry spells (number of continuous days without rain) across the homogeneous regions of the state of Ceará, and on the categories of rainfall (dry years, normal years, rainy years, very dry and very wet years), a 39-year rainfall time series was reviewed (source: FUNCEME). The following classes of dry spells were studied: 5-10 (1); 11-15 (2); 16-20 (3); 21-25 (4); 25-30 (5); >30 (6). In order to understand the response of the cowpea crop to the dry spells, an experimental area consisting of five different soil managements was set up, where soil humidity throughout the crop cycle was studied. Sampling in the field was completed with measurements of the foliar gas exchange of the bean plants using a model LI 6400 IRGA. The results showed that the Central and Inhamuns regions, as well as Jaguaribana, had more prolonged dry spells, indicating the greater agricultural vulnerability of these regions to the rainfall regime. February and May proved to be the months with the greatest occurrence of dry spells. The soil management which included subsoiling with in situ catchment, mulching and organic compost proved to be, throughout the crop cycle of the beans, the one having the greatest capacity for the storage and retention of water, especially during dry spells. Plant response confirmed the effects of this management as having a greater capacity for collecting and holding the water available to the plants for a longer period of time, increasing yield when compared to the other treatments, in ascending order (first to fourth) by 41% , 28%, 47% and 12%.

**Keywords:** Semi-Arid. Dry Spells-Vulnerability. Water Storage. Gas Exchange. Yield.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1.1 – Localização dos 77 postos pluviométricos utilizados na investigação ..... 43
- Figura 1.2 – Regiões pluviometricamente homogêneas do Ceará..... 44

### CAPÍTULO 2

- Figura 2.1 – Localização da área experimental ..... 61
- Figura 2.2 – Croqui das parcelas e tratamentos da área experimental, Quixeramobim, Ce..... 64
- Figura 2.3 – Escarificador ..... 67
- Figura 2.4 – Subsolador (a) e Sulcador (b)..... 67
- Figura 2.5 – Variação do conteúdo da água no solo durante o ciclo da cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), submetida a diferentes técnicas de manejo e preparo do solo na camada de 0,00-0,15 m ..... 70
- Figura 2.6 – Variação do conteúdo da água no solo durante o ciclo da cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), submetida a diferentes técnicas de manejo e preparo do solo na camada de 0,15-0,30 m ..... 70
- Figura 2.7 – Variação da armazenagem da água no solo durante o ciclo do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), Camada 0,0-0,15 m ..... 71
- Figura 2.8 – Variação da armazenagem da água no solo durante o ciclo do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), Camada 0,15-0,30 m ..... 71
- Figura 2.9 – Desenvolvimento do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – T-CCO e T-P e Sistema radicular do T-P uto ..... 74
- Figura 2.10 – Variação do armazenamento da água no solo durante o ciclo do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) entre as camadas de 0,0-0,15 e 0,15-0,30 m ..... 75

### CAPÍTULO 3

- Figura 3.1 – Localização da área experimental ..... 85
- Figura 3.2 – Croqui das parcelas e tratamentos da área experimental, Quixeramobim, Ce ..... 88
- Figura 3.3 – Escarificador ..... 90
- Figura 3.4 – Subsolador (a) e Sulcador (b)..... 90
- Figura 3.5 – Ilustração das medições das trocas gasosas foliares utilizando-se um IRGA modelo LI 6400 ..... 91
- Figura 3.6 – Distribuição das chuvas na área experimental (Janeiro – Junho) ..... 93

Figura 3.7 – Variação da armazenagem da água no solo durante o ciclo do feijão-de-corda ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.), camada 0,0-0,30 m.....	94
Figura 3.8 – Desenvolvimento do feijão- T-CCO x T-P e Sistema radicular do T-P .....	95
Figura 3.9 – Sistema radicular do feijão-de-corda no T-ESC (a) e T-CS (b).....	99

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1.1 – Frequência das classes de veranicos por Região Homogênea.....	46
Tabela 1.2 – Distribuição mensal por classes de veranicos nas regiões homogêneas.....	48
Tabela 1.3 – Pluviometria (P), pluviometria média (Pm), faixa de número de dias sem chuva (DSC), média do número de dias sem chuva (DSCm), faixa do número de veranicos por classe de precipitação (FV), e médias dos veranicos (Vm) por classe de precipitação (1974-2012) .....	49
Tabela 1.4 – Distribuição de frequência dos eventos por classes de veranicos e de precipitação (Quixeramobim – Ce).....	51
Tabela 1.5 – Distribuição temporal dos veranicos por classe de precipitação (Quixeramobim – Ce) .....	53

### CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 – Características físico-hídricas nas camadas de (0-0,15) m e (0,15-0,30) m, do solo da área experimental da Fazenda Normal, em Quixeramobim, Ce, 2012.....	62
--	----

### CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 – Características físico-hídricas nas camadas de (0–0,15) m e (0,15–0,30) m, do solo da área experimental da Fazenda Normal em Quixeramobim, CE, 2012 .....	86
Tabela 3.2 – Resultado do teste de Tukey entre os tratamentos para condutância estomática (gs), taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E) e temperatura das folhas (T1) de folhas de feijão-de-corda ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) ao 37° DAP .....	97
Tabela 3.3 – Resultado do teste de Tukey entre os tratamentos para condutância estomática (gs), taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E) e temperatura das folhas (T1) de folhas de feijão-de-corda ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) ao 58° DAP .....	97
Tabela 3.4 – Redução entre os tratamentos para a condutância estomática (gs), taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E) para a condição de dez dias de veranicos (06/06/2013) em relação à condição da capacidade de campo (16/05/2013).....	101

Tabela 3.5 – Produção da matéria seca nas folhas, hastes, vagens e rendimento da cultura do feijão nos diferentes tratamentos .....	103
Tabela 3.6 – Índice de Colheita (IC) do feijão-de-corda ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) estimado no 58° DAP e ao final da coleta das vagens no 70° DAP.....	104

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>HIPÓTESE</b> .....	18
<b>3</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	19
<b>3.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	19
<b>3.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	19
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
<b>4.1</b>	<b>Variabilidade climática no semiárido cearense</b> .....	20
<b>4.2</b>	<b>Veranicos no semiárido cearense</b> .....	21
<b>4.3</b>	<b>Veranicos e agricultura</b> .....	21
<b>4.4</b>	<b>O sistema de manejo e as propriedades físicas do solo</b> .....	23
<b>4.5</b>	<b>Densidade do solo</b> .....	24
<b>4.6</b>	<b>Porosidade do solo</b> .....	25
<b>4.7</b>	<b>Armazenamento e retenção da água no solo</b> .....	26
<b>4.8</b>	<b>O déficit hídrico e o rendimento das culturas no semiárido</b> .....	29
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	33

### **CAPÍTULO 1 – Ocorrências de veranicos como subsídio para a redução de riscos climáticos na agricultura em regiões semiáridas brasileiras**.....

<b>1.1</b>	<b>Introdução</b> .....	41
<b>1.2</b>	<b>Material e métodos</b> .....	43
<b>1.3</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	46
1.3.1	Veranicos na escala estadual – Ceará.....	46
1.3.2	Veranicos na escala municipal – Quixeramobim-Ce.....	49
<b>1.4</b>	<b>Conclusão</b> .....	54
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	55

### **CAPÍTULO 2 – Manejo do solo e a disponibilidade hídrica para agricultura de sequeiro em regiões semiáridas**.....

<b>2.1</b>	<b>Introdução</b> .....	59
<b>2.2</b>	<b>Material e métodos</b> .....	61
2.2.1	Caracterização da área experimental.....	61
2.2.2	Delineamento experimental.....	62

2.2.3	Determinação das propriedades físicas e químicas do solo .....	64
2.2.4	Coleta e análises de solo .....	65
2.2.5	Determinação das propriedades físicas .....	65
2.2.5.1	Granulometria e densidade das partículas.....	65
2.2.5.2	Densidade do solo .....	65
2.2.5.3	Porosidade do solo .....	65
2.2.5.4	Umidade do solo na parcela.....	66
2.2.6	Composição química do composto orgânico .....	66
2.2.7	Preparo do solo e implantação da área experimental.....	67
2.2.8	Plantio .....	68
<b>2.3</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	<b>69</b>
2.3.1	Armazenamento da água no solo .....	69
<b>2.4</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>77</b>

<b>CAPÍTULO 3 – Efeito de manejos no solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão de corda no semiárido.....</b>		<b>81</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>83</b>
<b>3.2</b>	<b>Material e métodos</b> .....	<b>85</b>
3.2.1	Caracterização da área experimental.....	85
3.2.2	Delineamento experimental .....	86
3.2.3	Determinação dos atributos físicos do solo .....	88
3.2.4	Umidade do solo na parcela.....	88
3.2.5	Composição química do composto orgânico .....	89
3.2.6	Preparo do solo e implantação da área experimental.....	89
3.2.7	Plantio .....	90
3.2.8	Medições das trocas gasosas .....	91
3.2.9	Produção de matéria seca, rendimento e índice de colheita.....	91
3.2.10	Análise Estatística .....	95
<b>3.3</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	<b>92</b>
3.3.1	Variações na umidade do solo: a variabilidade das precipitações pluviométricas e os veranicos .....	93
3.3.2	Efeitos dos diferentes manejos de solo nas trocas gasosas das plantas .....	96

3.3.3	Efeitos dos manejos na produção de matéria seca e rendimento dos grãos na cultura do feijão-de-corda ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.).....	103
<b>3.4</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>106</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>107</b>
	APÊNDICE A – Levantamento detalhado do solo da área experimental. Elaborado pela Fumceme (2012).....	110



## 1 INTRODUÇÃO

Caracterizadas pela escassez hídrica e fragilidade dos recursos naturais, as áreas semiáridas do Nordeste brasileiro apresentam uma grande diversidade geográfica e climática, com um variado potencial de exploração capaz de gerar distintos benefícios à sociedade. A forma de exploração dessas áreas, no decorrer do tempo, vem causando um acentuado declínio da paisagem original com números significativos de indicadores de degradação.

No Ceará, onde o semiárido abrange 86,8% da área do estado, estão inseridos 150 municípios de um total de 184. Nessa área, a agricultura de sequeiro, representa uma parcela significativa da atividade econômica e está constantemente, sujeita a irregularidades na distribuição das chuvas (veranicos), capazes de provocar grandes desequilíbrios na produção agrícola local.

As áreas agrícolas são exploradas com uma diversidade de sistemas de cultivo de forma intensiva e com práticas de manejo inadequadas ao regime climático, sendo um fator determinante do baixo rendimento das culturas exploradas pelo setor agrícola no semiárido cearense, o que leva a população a uma pressão constante sobre os recursos naturais, acelerando o processo de degradação.

Para essas limitações, quase unânimes, dos diversos semiáridos existentes no planeta, os estudos recentemente realizados em diversos países (Espanha, Índia, Turquia, Argentina, Austrália) sinalizam as lavouras de conservação de solo e água como sistema de produção mais adequado para essas regiões e apontam um cenário promissor quanto à sua sustentabilidade.

Trabalhos de conservação do solo e água como base para fundamentar estratégias de redução dos impactos das atividades agrícolas no sequeiro, dentro da microbacia hidrográfica, poderão contribuir para minimizar essa desorganização social, provocada pela insegurança alimentar, bem como, restabelecer maior equilíbrio entre as relações dos diversos componentes desse ambiente.

O entendimento do comportamento das precipitações pluviométricas (veranicos) e sua influência no sistema solo-planta são pré-requisitos para fundamentar o processo da dinâmica da água no solo, possibilitando caracterizar as diferentes formas de melhor manejá-lo para suprir o *déficit* de água à planta, problema central dos sistemas de cultivo no semiárido.

Também é fundamental o entendimento das mudanças que o manejo provocará no solo e como o mesmo se comportará quanto à capacidade de preservar a sua umidade durante

o ciclo da cultura, para as diferentes situações das variáveis do clima (precipitação, evaporação, temperatura, umidade do ar).

Com base nessas premissas (clima-solo-planta) formulou-se a hipótese desta pesquisa e os objetivos que permitem o seu teste conforme exposto em sequência.

## 2 HIPÓTESES

Reconhecendo as limitações do clima e dos recursos naturais bem como a inadequação dos sistemas produtivos na região semiárida do Nordeste brasileiro, indagações são feitas quanto ao uso de modelos de sistemas produtivos mais eficientes para o desenvolvimento de uma agricultura de sequeiro com menos riscos aos efeitos do clima. Nesse sentido surgem os seguintes questionamentos: Os estudos disponibilizados sobre os veranicos, principal condicionante do elevado risco da atividade agrícola no semiárido atendem e norteiam os produtores e pesquisadores no planejamento agrícola? Os modelos de sistemas produtivos testados são suficientes e adequados à realidade das condições do semiárido para a pequena produção? As respostas das plantas aos modelos desenvolvidos são conhecidas? É possível o desenvolvimento de alternativas com um conhecimento bem fundamentado na otimização destes modelos de produção?

A necessidade de resposta a estas perguntas propicia a formulação de quatro hipóteses para discussão e norteia os objetivos desta pesquisa:

- O conhecimento das variações nas ocorrências dos veranicos (quantidades e frequências) em função das precipitações pluviométricas fundamenta o desenvolvimento de técnicas que permitam adequar o comportamento das culturas às condições do clima;
- As diferentes formas de intervenções no solo provocam diferentes capacidades de captação e armazenamento de água no solo;
- A combinação de duas ou mais intervenções acarreta estados diferenciados, com conseqüente diferenciação na propriedade do armazenamento da água no solo;
- As respostas das plantas ao estresse hídrico diferenciam quanto às formas de intervenções no solo

### **3 OBJETIVO**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Gerar informações sobre a espacialização e frequência dos veranicos, como base para o entendimento dos efeitos no armazenamento da água no solo sob diferentes manejos e as respostas das plantas a estas variáveis na busca da redução da vulnerabilidade da agricultura de sequeiro as incertezas das condições climáticas do semiárido cearense.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

Quantificar os números, as frequências e a distribuição mensal dos veranicos em sete das oito regiões (exceto a região do Cariri) climaticamente homogêneas do estado do Ceará;

Quantificar os números, as frequências e a distribuição mensal dos veranicos para o município de Quixeramobim, segundo a caracterização dos períodos secos e chuvosos.

Avaliar o efeito sinérgico das combinações das práticas agrícolas no armazenamento da água no solo e seus resultados no rendimento da cultura do feijão-de-corda.

Avaliar os efeitos de manejos na disponibilidade hídrica do solo nas trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Variabilidade climática no semiárido cearense

Nas regiões semiáridas um sistema de produção agrícola sustentado é dificultado por muitos contrangimentos naturais. A agricultura de sequeiro é conduzida em um período de chuvas curto e altamente imprevisível, com altas precipitações pluviométricas intercaladas com secas repentinas, em solos com baixa capacidade de infiltração e uma elevada taxa de evapotranspiração durante o período de cultivo (ICRISAT, 1980).

Nesse sentido, Duque (1973) já manifestava essa preocupação e mostrava que as condições edafoclimáticas do semiárido nordestino não eram uniformes. Estas regiões deveriam ser estudadas sob o aspecto geral resultante do clima, da fisiografia e da edafologia em relação às plantas cultivadas ou nativas.

A compreensão da variabilidade e a distribuição espaço-temporal das chuvas sobre os recursos ambientais de uma região tornam-se fundamentais no processo de organização espacial deste território, e na formulação de políticas públicas para o setor agrícola, principalmente no tocante à agricultura de sequeiro (BATISANI; YARNAL, 2010).

Para Mariano (2010), a organização do espaço agrícola é influenciada, sobremaneira, pelas condições climáticas. Embora o clima, ainda, seja considerado como o grande responsável pelas perdas da produção e da produtividade agrícola (RIBEIRO, 1993; SANTOS; RIBEIRO, 2002; MARIANO, 2010) o entendimento desse complexo sistema é capaz de dotar de informações básicas para a tomada de decisão, visando à redução dos riscos de perdas no setor agrícola (PICCININI, 1993; HARTMANN *et al.*, 2011).

A variabilidade espacial e temporal do regime pluviométrico se manifesta na distribuição ao longo da estação das chuvas quanto nos seus totais anuais de precipitação entre os anos em uma mesma localidade (BNB, 2005). Exemplo dessas características podem ser melhor compreendidas através dos resultados do trabalho de Andrade Júnior *et al.* (2005), com a classificação climática e regionalização das áreas semiáridas sob cenários pluviométricos (anos secos, normais e chuvosos), os quais, chegaram à conclusão de que a classificação climática e a regionalização da região semiárida do estado do Piauí variaram com os cenários pluviométricos.

## 4.2 Veranicos no semiárido cearense

Uma particularidade da climatologia do semiárido do Nordeste brasileiro é a constante ocorrência de períodos com ausência de chuva (veranicos) durante a estação chuvosa. Os veranicos caracterizam-se como uma vulnerabilidade climática no tocante à sustentabilidade da exploração agrícola. Estes são os principais responsáveis pelas frustrações das safras no semiárido nordestino (DUQUE, 1973; SILVA; RAO, 2002).

A presença desses períodos prolongados sem chuvas são fatos corriqueiros nas regiões semiáridas. Quando sua ocorrência se dá com a incidência de vários dias consecutivos, produzem efeitos limitantes para o desenvolvimento das culturas em decorrência da redução do conteúdo da água no solo (FIDELIS FILHO *et al.*, 1998; McHUGH *et al.*, 2007; MENEZES *et al.*, 2010).

Os veranicos constituem-se em um sério problema, quando vão além dos dez dias sem chuvas contínuas e atingem, principalmente, os estádios fenológicos de floração e de formação e enchimento dos grãos (SILVA; RAO, 2002). Estes, também, são prejudiciais quando ocorrem no período da emergência das plantas. Os autores supracitados, também, detectaram que a estação chuvosa, na maior parte do semiárido cearense, ocorre entre os meses de fevereiro e maio, acrescentando que a probabilidade de ocorrência de veranicos decendiais encontrada para o semestre foi de 51, 39 e 25% em janeiro; de 20, 18 e 21% em fevereiro; de 10, 7 e 6% em março; de 9, 10 e 11% em abril; de 25, 25 e 28% em maio; e de 38, 43 e 51% em junho.

Dessa forma, o conhecimento sobre a duração, quantidade e distribuição das chuvas permite uma melhor previsão da vulnerabilidade das atividades agrícolas aos veranicos inerentes ao clima semiárido. O conhecimento dessa vulnerabilidade é fundamental para o planejamento das atividades agrícolas, possibilitando a redução dos riscos de perda na produção e produtividade das culturas de sequeiro (CARVALHO *et al.*, 1999; CARVALHO *et al.*, 2000).

## 4.3 Veranicos e agricultura

Virmani *et al.* (1980) mostraram que a insuficiência de água no solo, provocada pela presença de dias consecutivos secos (veranicos) é o fator chave a ser trabalhado com o fim de melhor desenvolver a agricultura nas regiões do semiárido e que essa restrição climática tem sido melhorada a partir da gestão dos recursos do solo e da água. Diante desse

resultado, os autores supracitados propõem trabalhos, no sentido de melhor quantificar a distribuição de chuvas, a umidade do ambiente, a capacidade de armazenamento de água no solo e a sua disponibilidade em relação ao tempo.

O semiárido cearense assim como os demais semiáridos do Nordeste apresenta como características marcantes: irregularidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica bastante acentuada, elevada evaporação, ocorrência de secas quase periódicas bem como o predomínio de solos cristalinos com baixa capacidade de retenção de água (XAVIER, 2001).

Em trabalhos nessa região, Repelli e Alves (1996) utilizaram as médias de precipitações ocorridas nos últimos trinta anos e o conteúdo de água retida pelo solo para a determinação não só do melhor período para o plantio, mas, também, para estimar a menor probabilidade de ocorrência de veranicos. Dessa forma, destacam-se o período de 20 de fevereiro a 10 de maio, como o de menor probabilidade de ocorrência de longos períodos sem chuva (acima de vinte dias), mesmo para os municípios mais áridos.

Nesse trabalho, os autores mostram diferenças significativas quanto às capacidades máximas de retenção de água entre os postos pluviométricos estudados. Foram trabalhados solos com capacidade de retenção de 46 mm, enquanto outros chegaram a 121 mm. Isso mostra a importância de estudos específicos sobre a umidade do solo, a capacidade de armazenamento de água no solo e a sua disponibilidade em relação ao tempo como sugerido por Virmani *et al.* (1980).

Soares e Nóbrega (2010), em Pernambuco, encontraram, em média, de seis a sete eventos de veranicos por estação chuvosa, os quais, por sua vez, apresentaram uma ausência de chuvas, com uma média de duração de nove a dezoito dias. Porém, foram constatados veranicos maiores da ordem de 14 a 36 dias. O período de dias sem chuva, no total da quadra chuvosa (quatro meses), oscilou entre 78 dias para o município de Triunfo-PE até 109 dias sem chuvas para as regiões do sertão. Os autores comentam, ainda, a existência da variabilidade de um ano em relação a outro (seco, normal e chuvoso) quanto à quantidade e duração dos veranicos.

Os resultados dos trabalhos de Repelli e Aves, (1996) e Soares e Nóbrega (2010) e suas associações com os resultados dos trabalhos de Andrade Júnior *et al.* (2005) apresentam informações que podem ampliar o domínio das condições específicas das diferentes localidades e, conseqüentemente, contribuir para a adoção de sistemas produtivos, capazes de minimizar os riscos da atividade agrícola nas regiões semiáridas.

Xavier (2001), utilizando a base de dados da precipitação pluvial diária de uma série histórica hídrica (Funceme/Sudene, 1964-1996) identificou oito regiões

pluviometricamente homogêneas para o estado do Ceará, promovendo mudanças na regionalização anteriormente utilizada pela Funceme e dotando o estado de maiores informações quanto à distribuição da pluviometria em seu território. Ao mesmo tempo, caracterizou os períodos secos e chuvosos através da técnica dos “Quantis”, classificando-os em muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso.

Para a realização de estudos e pesquisas tendo-se como base as precipitações pluviométricas de uma determinada região ou localidade faz-se necessário um bom entendimento do clima e sua vulnerabilidade para os sistemas produtivos. Os resultados podem fundamentar o desenvolvimento de técnicas ao setor agrícola desta região, que permitam adequar o comportamento das culturas às condições do clima, com um melhor aproveitamento nos resultados dos seus sistemas de produção (BRAIDO; TOMMASELLI, 2010).

#### **4.4 O sistema de manejo e as propriedades físico-hídricas do solo**

O solo, por ser o resultado de uma ação combinada de diversos fatores, apresenta-se como um sistema complexo e dinâmico com um variável arranjo de suas partículas. Essa variabilidade nos arranjos das partículas do solo pode ser decorrente dos fatores que compõem o ambiente (material de origem, clima, organismos) durante sua formação e ação do tempo, bem como, por meio da interferência antrópica (DALMAGO, 2004).

Mudanças no sistema de manejo do solo provocam alterações nas suas propriedades físicas e hídricas por afetar, diferenciadamente, seus atributos (densidade, porosidade, infiltração, dentre outros), interferindo, diretamente, no processo de armazenamento da água (STONE; MOREIRA, 2000; TORMENA *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2005).

O uso da técnica de lavoura de conservação tem conseguido preservar a água no solo, principalmente, nos anos de fortes irregularidades climáticas, motivo pelo qual tem sido a principal razão à sua rápida disseminação nas regiões de clima semiárido para uma agricultura de sequeiro com menor risco de perda de sua produção com, muitas vezes, melhor produtividade (BESCANSA *et al.*, 2006).

O uso de tecnologias introduzidas aos sistemas produtivos (manejo solo-planta) requer, para a sua sustentabilidade, o conhecimento das alterações que elas promovem nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, principalmente, em regiões onde a



escassez de água é o fator limitante para a produção agrícola no sequeiro (KLEIN; LIBARDI, 2002; CAVALIERI *et al.*, 2006; SAHRAWAT *et al.*, 2010).

O conhecimento das alterações das propriedades físico-hídricas em função do manejo empregado permite melhor entender as relações de causa e efeito das intervenções, nos resultados da cultura trabalhada, a partir das mudanças nos atributos físicos, permitindo melhor avaliar e adequar as reais condições ambientais (DALMAGO *et al.*, 2009).

#### **4.5 Densidade do solo**

A densidade do solo é uma propriedade física que reflete bem as condições estruturais (arranjo das partículas e espaço poroso) do solo, que por sua vez permite conhecer a capacidade de armazenamento de água pelo solo (AMARO FILHO *et al.*, 2008).

Solos com baixa densidade facilitam a infiltração da água no solo, propiciam condições para maior armazenamento de água, desenvolvimento das raízes e ideais condições de trocas gasosas. Por outro lado, solos com elevada densidade se mostram menos estruturados dificultando de várias formas o desenvolvimento das culturas. Tal fato torna essa propriedade uma variável dependente da estrutura do solo e um importante indicador de sua qualidade (GUARIZ *et al.*, 2009).

Essa propriedade é fundamental para um melhor entendimento dos resultados das práticas de manejo e uso do solo e o seu comportamento físico-hídrico. O aumento na densidade do solo promove modificações na distribuição de poros nos solos sob cultivo mais intensivo, alterando a forma das curvas de retenção de água, que resultam em mudanças na qualidade física e hídrica (KLEIN; LIBARDI, 2002; MACHADO *et al.*, 2008).

Assim, o conhecimento da densidade do solo, juntamente com outras propriedades físicas, pode auxiliar na decisão de quais práticas de manejo devem ser adotadas, quando da implantação de sistemas produtivos, tendo em vista garantir boas condições ao desenvolvimento das culturas. Essas práticas devem ser constantemente avaliadas com a finalidade de manter a produtividade do solo continuada e estável (SANTOS, 2007).

A presença do adensamento natural e/ou compactação pelas contínuas e sucessivas explorações na mesma área altera o arranjo das partículas do solo, diminui o volume dos poros, aumenta a resistência à penetração de raízes, reduz a capacidade de infiltração e armazenamento de água. Essas alterações, juntamente com o modelo de sistema de produção adotado, inviabilizam o desenvolvimento dos cultivos (SILVA *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2008).

Áreas naturalmente adensadas estão presentes em grande parte do semiárido nordestino apresentando altas densidades do solo (SILVA *et al.*, 2001). Isto ocorre por processos pedogenéticos e são principalmente decorrentes de ciclos de umedecimento e secagem do solo, coesão/adesão e eluviação/iluviação de argila.

A presença e o predomínio da fração de areia fina também reduz o espaço poroso, aumentando a densidade. Isto evidencia a influência do tamanho das partículas no processo de adensamento e/ou compactação. Os solos do semiárido no Nordeste do Brasil apresentam altos valores da densidade do solo (1,41 - 2,06 Mg.m<sup>-3</sup>) (SILVA *et al.*, 2001).

Para as condições subtropicais do país, densidades acima de 1,4 Mg. m<sup>-3</sup> para solos argilosos e 1,65 Mg m<sup>-3</sup> para solos de textura média são limitantes ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas (LLANILLO *et al.*, 2006).

#### **4.6 Porosidade do solo**

A porosidade do solo está inversamente relacionada com a densidade do solo, isto é, quanto maior a densidade, menor a porosidade. Essas variáveis estão, intrinsecamente, relacionadas e ambas alteram-se pelos sistemas de preparo (LLANILLO *et al.*, 2006). Em conjunto, essas propriedades físicas do solo exercem influências em vários de seus atributos responsáveis pelo desenvolvimento sustentável dos sistemas produtivos, onde, dentre estes, se destacam a capacidade de aeração do solo, a condutividade hidráulica, a temperatura do solo, a disponibilidade de água e nutrientes, e a resistência à penetração (SECCO *et al.*, 2005).

Assim, para se alcançar o desenvolvimento pleno de um sistema de cultivo, procura-se adequar as práticas de manejo do solo à cultura. O solo deve estar solto e friável para a penetração das raízes. A porosidade do solo deve apresentar volume, tamanho e distribuição convenientes, como forma de otimizar sua capacidade de reter e movimentar a água e ar (HILLEL, 1970).

Para Kiehl (1979), a porosidade total não é um atributo que caracteriza bem o solo, mas sim, a distribuição do tamanho dos seus poros (macro e microporosidade). A importância dessa distribuição diz respeito ao papel do tamanho dos poros no comportamento físico-hídrico do solo. Amaro Filho *et al.* (2008) mostram a importância dos microporos na capacidade de reter a água e dos macroporos em promover as trocas gasosas.

Em muitos casos a macroporosidade pode ser reduzida quando submetida a uma compressão, aumentando a microporosidade, contudo, sem alterar a porosidade total (DALMAGO *et al.*, 2009). Exemplo dessa natureza pode ser visualizado em trabalho

realizado por Silva *et al.* (2006), no qual os sistemas de manejo (preparo convencional , preparo reduzido e semeadura direta) não influenciaram a densidade e a porosidade, mas, sim, a distribuição dos tamanhos dos poros em profundidade.

Os modelos convencionais de manejo do solo intensivo e de forma não adequada à real capacidade de uso, levam a um quadro de exaustão e degradação do solo. Estes são exemplos de mudanças nas propriedades físicas, oriundas das alterações na relação massa/volume que foram capazes de reduzir a porosidade total e macroporosidade, resultando na maior compactação e, conseqüentemente, no aumento da densidade e redução da infiltração da água (SANTOS, 2007).

Outro exemplo pode ser observado em áreas cultivadas, onde os solos que estão expostos às chuvas, sofrem com os efeitos das forças da energia cinética das gotas, desagregando as partículas do solo e alterando suas propriedades físicas pelo rearranjo da estrutura do solo, provocado pelos deslocamentos dessas partículas em suspensão, que penetram e obstruem os poros, dando origem ao selamento superficial, o que influencia a infiltração da água (SCHAEFER *et al.*, 2002; BRANDÃO *et al.*, 2007).

Em regiões tropicais, onde é frequente a presença de chuva com alta intensidade no decorrer do ciclo da cultura, é comum a formação do selamento superficial. Este é o responsável pela obstrução dos poros, resultados do deslocamento de partículas desagregadas da camada superficial para a subsuperficial, redundando em grandes variações nas perdas de solo e água (ELTZ *et al.*, 2001).

Como alternativa para redução e ou mesmo eliminação do surgimento do selamento em regiões vulneráveis para tal, Schaefer *et al.* (2002) e Brandão *et al.* (2007) mostraram a importância da cobertura do solo na proteção do impacto das gotas da chuva, uma vez que nas parcelas protegidas, os poros mantiveram-se interligados, mantendo, dessa forma, uma boa capacidade de infiltração da água no solo.

Essa cobertura atua sobre a estrutura do solo, evitando a sua desagregação, o selamento superficial e o entupimento dos poros, evitando, assim, todos os impactos negativos já conhecidos (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994).

#### **4.7 Armazenamento e retenção da água no solo**

O conteúdo de água no solo é característica específica de cada solo. A quantidade de água acumulada é o resultado de uma complexa combinação de vários fatores, onde se

destacam a textura, estrutura, mineralogia e matéria orgânica (REICHARDT, 1987). Já a armazenagem da água no solo e sua disponibilidade para as plantas são resultantes dos processos dinâmicos (infiltração, distribuição, drenagem e absorção) da interação solo-água-planta (AMARO FILHO *et al.*, 2008).

Os sistemas de preparo do solo para uso agrícola modificam as propriedades físicas como a densidade (KLEIN; LIBARDI, 2002; ARAUJO *et al.*, 2004), a porosidade (HILLEL, 1970; TAVARES FILHO, 2009) e a infiltração (BERTOL, 2006; MENDONÇA *et al.*, 2009), mudando, diferenciadamente, a capacidade de reter e armazenar a água disponível às culturas (STONE; MOREIRA, 2000).

As alterações nos atributos físicos do solo, provocadas pelos diversos sistemas de preparo, podem influenciar positiva ou negativamente a retenção e o armazenamento de água disponível para a planta. A estrutura é o principal dos atributos afetados, sendo seus efeitos sentidos pelas culturas de forma imediata ou em curto prazo (SILVA *et al.*, 2005).

Nas regiões semiáridas onde a água é o fator limitante para a produção agrícola, mudanças nos atributos físicos do solo exercem forte influência na sua componente hídrica, afetando o conteúdo e o movimento da água no solo. Melhorias na estrutura do solo podem aumentar a capacidade de reter e armazenar água para atenuar o estresse hídrico em áreas de sequeiro (FERNANDEZ-UGALDE *et al.*, 2009).

Para González e Alves (2005), “a retenção de água é primariamente dependente da distribuição do tamanho das partículas do solo, estrutura, mineralogia e matéria orgânica; numa segunda consideração, o uso e o manejo do solo estarão afetando a retenção e o seu conteúdo de água”.

Com o uso mais intensivo do solo, constatam-se os aumentos na densidade e reduções nos teores de argila e carbono orgânico (C), promovendo modificações na distribuição dos poros que retêm água com menor energia, e conseqüentemente, mudanças na forma das curvas de retenção de água (MACHADO *et al.*, 2008). Alterações na porosidade, também, exercem influências na distribuição dos diâmetros dos poros, alterando, também, o traçado das curvas de retenção de água (KLEIN; LIBARDI, 2002).

Tavares Filho e Tessier (2009), em estudos com dois sistemas de preparo do solo (convencional e semeadura direta), constataram modificações na estrutura dos microagregados do solo estudado (Latossolo Vermelho), reduzindo o volume dos poros. Em ambos os sistemas de preparo ocorreram diferenças em suas densidades e distribuição dos poros ao longo do perfil do solo. Ressaltam os autores que essas modificações no volume dos poros no perfil resultaram em perdas no armazenamento de água ao longo do tempo.

Essas modificações ocorridas na estrutura do solo em decorrência do uso e manejo podem, ainda, ser comprometidas pelas condições climáticas. A climatologia exerce sua influência por ação do tempo e, principalmente, pelo seu regime de distribuição das chuvas (intensidade das chuvas). Os impactos das gotas de chuva comprometem a capacidade de retenção e armazenamento da água do solo (BERTOL, 2001; COSTA, 2003; BERTOL, 2007).

Em Weldiya Norte Wello - Etiópia, os resultados de pesquisas com lavouras de conservação de água e solo comprovaram os efeitos na melhoria da capacidade de retenção da água no solo, garantindo maior rendimento, redução do escoamento superficial e das perdas de solo. No entanto, esse desempenho variou com a intensidade da precipitação, a distribuição temporal das chuvas e a declividade do terreno (McHUGH *et al.*, 2007).

Dentre as técnicas comumente empregadas para minimizar os efeitos da compactação no solo citam-se a escarificação e a subsolagem (CENTURION; DEMATTÊ, 1992). Os rompimentos das camadas compactadas do solo, promovido pela adoção dessas técnicas às operações de escarificação e subsolagem, resultaram em melhorias na condição estrutural com a mínima mobilização. Dentre os benefícios enumeram-se a redução da densidade do solo, o aumento no volume de macroporos, a redução da resistência à penetração das raízes, o melhoramento da capacidade de aeração e a drenagem interna do solo com maior taxa de infiltração e redução da erosão e escoamento superficial (SECCO; REINERT, 1997; CALONEGO, 2007; SANTOS *et al.*, 2011).

Práticas conservacionistas que priorizam a incorporação de matéria orgânica têm sido estudadas, principalmente, para a recuperação e conservação de áreas degradadas. Dentre os benefícios de sua utilização correta destaca-se o melhoramento da estrutura do solo, dotando-o de uma maior capacidade de retenção e armazenamento de água (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Estudos desenvolvidos no semiárido do Kenya, em Machanga, Gachoka, distrito de Mbeere, com práticas de manejo de conservação do solo e água, através da adição de esterco e cobertura morta aos cultivos, mostraram excelentes resultados no aumento das taxas de infiltração da água no solo. Essas práticas influenciaram, positivamente, o armazenamento e a disponibilidade de água às plantas, evitando perdas de safra em anos de irregularidades climáticas (GICHERU *et al.*, 2004).

A cobertura superficial do solo, acumulada pelos restos dos cultivos, contribui para o aumento das taxas de infiltração e aumento do armazenamento de água no solo por

evitar a formação de crostas superficiais, impedindo o selamento e, ao mesmo tempo, aumentando o tempo de oportunidade de infiltração (LLANILLO *et al.*, 2006).

A associação da cobertura morta com outras práticas de manejo do solo, também, tem dado bons resultados na redução das perdas de solo e água. No semiárido da Paraíba, pesquisas realizadas na bacia experimental de Sumé, a associação da cobertura morta com práticas conservacionistas mostraram uma redução de 99% nas perdas de solo e 74% nas perdas de água em relação às parcelas desmatadas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2002).

#### **4.8 O déficit hídrico e o rendimento das culturas no semiárido**

O *déficit* hídrico é um dos fatores mais limitantes da produção vegetal, afetando as relações hídricas nas plantas e no seu metabolismo. No Nordeste do Brasil, região em que o regime pluviométrico é irregular e, muitas vezes, escasso, associado a altas temperaturas e elevada evaporação, a insuficiência hídrica limita a produtividade (NASCIMENTO, 2009).

A insuficiência hídrica é uma situação comum a muitas culturas e constitui-se um dos fatores que mais afetam a produção agrícola, influenciando diretamente nas relações hídricas e trocas gasosas das plantas, afetando seu crescimento, desenvolvimento e produtividade (KERBAURY, 2009; FRANÇOIS, 2012).

As principais causas da insuficiência de água na planta estão relacionadas com a defasagem entre os processos de transpiração, absorção e a disponibilidade de água no solo. O nível de água na planta depende do balanço entre a entrada e saída. Essas magnitudes são variáveis, de maneira que o nível interno de água flutua entre valores máximos, logo ao amanhecer, e teores mínimos, nas horas de transpiração mais intensa entre 11h-14h (PASSOS *et al.*, 2005; COSTA; MARENCO, 2007; PEIXOTO, 2011).

A produtividade das culturas é dependente dos fatores genéticos, fisiológicos e ambientais. Os fatores genéticos correspondem à hereditariedade que a planta recebe de seus ancestrais por herança, ou pela mutação. Os fatores fisiológicos são influenciados por fatores externos da atmosfera e, também, pela influência das condições químicas, físicas e biológicas do solo (PEIXOTO, 2011).

A resposta das plantas ao *déficit* hídrico é complexa, envolvendo um conjunto de variáveis. Muitas vezes, são submetidas aos efeitos de períodos de insuficiências hídricas e condições atmosféricas (anos secos, normais e chuvosos) diferenciadas durante todo o seu ciclo, podendo apresentar respostas sinérgicas ou antagônicas (CHAVES *et al.*, 2002).

O rendimento de uma cultura é, portanto, dependente das relações solo-planta-atmosfera. A resposta mais comum das plantas ao *déficit* hídrico é o fechamento estomático (PAIVA *et al.*, 2005). A resistência estomática reflete bem as condições hídricas das plantas e está, diretamente, relacionada à disponibilidade de água no solo (BIANCHI *et al.*, 2007).

Esse fechamento evita a desidratação da planta e fenômenos de cavitação, os quais poderiam comprometer sua sobrevivência (CHAVES *et al.*, 2002). Em resposta ao *déficit* hídrico, as plantas reduzem a abertura dos estômatos, influenciando outros parâmetros como a taxa de transpiração e a taxa de fotossíntese, com consequências na produtividade das culturas (TAIZ; ZEIGER, 2009; FRANÇOIS, 2012).

Santos *et al.* (2009), trabalhando com cinco genótipos de feijão, sob *déficit* hídrico moderado verificaram que a condutância estomática e a taxa fotossintética foram significativamente reduzidas em todos os genótipos, devido ao *déficit* hídrico. François (2012), estudando as relações hídricas e fisiológicas desta mesma cultura (feijão) submetida a irrigações deficitárias (100%, 75%, 50% e 25% da evapotranspiração), obteve resultados semelhantes, quando submetida aos menores níveis de irrigação (estresse hídrico), acrescentando que a temperatura foliar aumenta, em média, 2,9 vezes em comparação com o maior nível de irrigação.

Em trabalho com quatro variedades de cana, também, sob estresse hídrico no estado de Alagoas, foram verificadas reduções significativas na condutância estomática, transpiração foliar, fotossíntese líquida e na eficiência de uso da água de produção, independente da variedade (GONÇALVES *et al.*, 2010)

Bianchi *et al.* (2007), avaliando as alterações na condutância foliar da cultura do milho, cultivado em dois sistemas de manejo do solo, com diferentes disponibilidades hídricas, concluíram que a condutância foliar do milho tem relação direta com o nível de disponibilidade de água no solo, independentemente do sistema de manejo do solo.

Técnicas modernas de manejo que têm, como base, o princípio da conservação do solo e água, apresentam melhores respostas para minimizar os efeitos dos *déficits* hídricos em relação aos modelos convencionais, por promoverem alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas, modificando a dinâmica da água no solo e o conteúdo de água armazenada (BESCANSA *et al.*, 2006; McHUGH *et al.*, 2007; DALMAGO *et al.*, 2009).

Martorano *et al.* (2009), trabalhando com a técnica de conservação do solo e água por meio dos sistemas de plantio direto e de plantio convencional, verificaram que o tempo de secagem do solo foi mais prolongado no plantio direto, os potenciais matriciais menos

negativos, as temperaturas máximas e amplitude térmica menores do que em preparo convencional, influenciando, também, em maior rendimento dos grãos da cultura trabalhada (soja).

Várias são as técnicas aplicadas para corrigir as limitações do solo e dotá-lo de melhores condições físicas, químicas ou biológicas para o desenvolvimento das plantas no alcance de maiores rendimentos físicos. Dalmago *et al.* (2004) têm reforçado que o uso da tecnologia de conservação do solo e água em plantio direto minimizou os efeitos do *déficit* hídrico, em razão dessas técnicas disponibilizarem maiores condições hídricas para as plantas.

Solos com limitações no desenvolvimento do seu sistema radicular, em camadas mais profundas, levou Secco *et al.* (2009) a pesquisarem os atributos físicos do solo e os rendimentos de grãos para as culturas do milho, soja e trigo, cultivados em solos compactados e escarificados. Os resultados mostraram que a escarificação do solo aumentou o rendimento de grãos da cultura do milho e trigo em relação aos três estados de compactação, menos para a cultura da soja, evidenciando, segundo os autores, a suscetibilidade das gramíneas aos efeitos da compactação.

A prática mecânica da escarificação em conjunto com o plantio direto resultou em infiltração de água e condutividade hidráulica do solo saturado, superiores aos do plantio direto sem escarificações, demonstrando ser uma alternativa para a conservação do solo e da água, com efeitos que permaneceram por até 24 meses (VIEIRA; KLEIN, 2007).

No estado da Bahia, em pesquisas com solos tabuleiros (ecossistema tabuleiros costeiros) com limitações de resistência à penetração, deficiência de aeração, disponibilidade de água, acidez elevada e baixo teor de nutrientes, a prática da subsolagem alterou a estrutura do solo pelos distúrbios causados na camada densa, melhorando a circulação do ar, água e nutrientes no perfil do solo, proporcionando maior desenvolvimento da planta, produtividade e peso médio dos frutos (BRANDÃO, 2005).

O uso da técnica de captação da água da chuva *in situ* pelo método de sulcos barrados em Petrolina-Pernambuco propiciou uma diferença na produtividade do milho em relação ao sistema de plantio convencional de 50%, quando a precipitação pluviométrica acumulada no período foi abaixo da média (322,8 mm). Esta técnica é utilizada como um meio de aumentar o armazenamento da água no solo e sua disponibilidade para as culturas (ANJOS *et al.*, 2007).

A cobertura morta associada ao cultivo mínimo da mandioca em Argissolos Vermelhos de textura arenosa, em Dourados-MS, promoveu incremento na produtividade, quando comparado ao preparo convencional do solo (OTSUBO *et al.*, 2008).



No Quênia, em estudos com práticas de manejo de solo com uso da cobertura morta, comprovou-se que o estrume e a cobertura vegetal com cultivo mínimo têm um efeito maior sobre o balanço hídrico da superfície do solo e emergência do milho. Houve aumento na taxa de infiltração e na quantidade de água armazenada no solo. Os autores recomendam essas práticas para evitar redução de perdas de safra por estresse hídrico em regiões do semiárido (GICHERU *et al.*, 2004).

Aumentos da disponibilidade de água no solo para a planta no semiárido teve satisfatórios resultados com o uso da matéria orgânica, cobertura morta e o sistema de conservação do solo e água na Espanha. Alterações nas componentes físicas, químicas e biológicas do solo possibilitaram aumentar a disponibilidade de água para as plantas, especialmente sob condições mais secas, amenizando os estresses hídricos da planta. O maior teor de matéria orgânica no solo contribuiu para alterar a distribuição no tamanho dos poros, aumentando o conteúdo de água no solo disponível para a planta (BESCANSÁ *et al.*, 2006).

Como resultados do uso dessas práticas se verificam incrementos no conteúdo e capacidade de armazenagem de água pelo solo, melhorias que são decisivas à garantia e produtividade dos cultivos agrícolas, principalmente, em regiões semiáridas que apresentam pluviosidades deficientes e irregulares. Por essas razões o manejo adequado do solo é uma importante prática, capaz de reduzir o *déficit* hídrico, pela sua capacidade de disponibilizar água por um maior período de tempo (SAHRAWAT *et al.*, 2010).

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. W. *et al.* Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 136-141, 2002.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290p.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. *et al.* Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 36, n. 2, p. 143-151, 2005.
- ANJOS, J. B. *et al.* Captação “in situ”: água de chuva para produção de alimentos. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. cap. 7, p. 141-155.
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.
- BATISANI, N; YARNAL, B. Rainfall variability and trends in Semi-Arid Botswana: Implications for climate change adaptation policy. **Applied Geography**, v. 30, n. 4, p. 483-489, 2010.
- BNB. Banco do Nordeste do Brasil; Funceme. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Proposta de dimensionamento do semiárido brasileiro**. Fortaleza, CE: Banco do Nordeste do Brasil-BNB, 2005.
- BERTOL, I. *et al.* Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.
- BERTOL, I. *et al.* Parâmetros relacionados com a erosão hídrica sob taxa constante da enxurrada, em diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 715-722, 2006.
- BERTOL, O. J. *et al.* Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 781-792, 2007.
- BESCANSA, P. *et al.* Soil water retention as affected by tillage and residue management in semi-arid Spain. Pamplona, Spain. **Soil & Tillage Research** v. 87, n. 1, p.19-27, 2006.
- BIANCHI, C. A. M. *et al.* Condutância da folha em milho cultivado em plantio direto e convencional em diferentes disponibilidades hídricas. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 315-322, 2007.
- BRAIDO, L. M. H.; TOMMASELLI, J. T. G. Caracterização climática e dos anos extremos (chuvoso e seco): seus efeitos na produção de cana-de-açúcar, milho e soja para a região do Pontal do Paranapanema, SP. **Revista Formação**, v. 1, n. 17, p.13-34, 2010.

- BRANDÃO, F. J. C. **Subsolagem em um Latossolo Amarelo coeso de Tabuleiro Costeiro e consequências no comportamento do cultivar Tangor Murcote**. 2005. 89f. Dissertação (Mestrado em Uso, Manejo e Conservação dos Recursos Naturais Solo e Água) - Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2005.
- BRANDÃO, V. S. *et al.* Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 129-138, 2007.
- CALONEGO, J. C. **Uso de plantas de cobertura na recuperação de solo compactado. Botucatu**. 2007. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.
- CARVALHO, D. F. *et al.* Estimativas de ocorrência de veranicos em Seropédica, Vassouras e Pirai (RJ), e suas influências no rendimento da cultura do feijão (*Phaseolus Vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, n. 2, p. 323-330, 1999.
- CARVALHO, D. F. *et al.* Espacialização do período de Veranico para diferentes níveis de perda de produção na cultura do milho, na Bacia do Rio Verde Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 172-176, 2000.
- CAVALIERI, K. M. V. *et al.* Efeitos de sistema de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 30, n. 1, p. 137-147, 2006.
- CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Sistemas de preparo de solos de cerrado: efeitos nas propriedades físicas e na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 315-324, 1992.
- CHAVES, M. M. *et al.* How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 907-916, 2002.
- COSTA, F. S. *et al.* Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.
- DALMAGO, G. A. **Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional**. 2004. 245f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- DALMAGO, G. A. *et al.* Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, Suplemento 0, p.855–864, 2009.
- DUQUE, J. G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. 2. ed. Banco do Nordeste do Brasil S.A., 238p. 1973.

ELTZ; F. L. F.; MEKL, H. U.; REICHERT, L. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um argissolo vermelho- amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 25, n. 2, p. 485-493, 2001.

FERNÁNDEZ-UGALDE, O. *et al.* No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. **Soil & Tillage Research**, v. 106, n. 1, p. 29-35, 2009.

FIDELIS FILHO, J.; RAO, T. V. R.; NOBREGA, J. Q. Probabilidade de ocorrência de veranicos no período chuvoso na região de Lagoa Seca. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. 1 CD-ROM.

FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. 2012. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água do Solo) – Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012.

GONÇALVES, E. R. *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378–386, 2010.

GONZÁLEZ, A. P.; ALVES, M. C. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um Cambissol gleico de Lugo, Espanha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 45-50, 2005.

GICHERU, P. *et al.* Effects of soil management practices and tillage systems on surface soil water conservation and crust formation on a sandy loam in semi-arid Kenya. **Soil & Tillage Research**, v. 75, n. 2, p. 173-184, 2004.

GUARIZ, H. R. *et al.* Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. Rio Grande do Norte-Natal. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p. 7709-7716.

HARTMANN, M.; MOALA, F. A.; MENDONÇA, M. A. Estudos das precipitações anuais em Presidente Prudente. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 4, p. 561-568, 2011.

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre- RS. Traduzido pelo convênio UFRGFS-USAID/Wisconsin. Publicado pelo Departamento de Solos- UFRG, 231 p. 1970.

KERBAURY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 452 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo-planta**. Piracicaba: ESALQ, 1979.118p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

- ICRISAT. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics - International Workshop on the Agroclimatological Research Needs of the Semi-Arid Tropics. Hyderabad, Índia. 1978, 230p.
- LLANILLO, R. F. *et al.* Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n° 2, p. 205-220, 2006.
- LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação do solo e água**. Campinas- São Paulo. 2ª Impressão, CATI, 1994. 565p.
- MACHADO, J. L. *et al.* Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p.495-502, 2008.
- MARTORANO, L. G. *et al.* Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13, n. 4, p. 397-405, 2009.
- MARIANO, Z. de F. Precipitações pluviiais e a cultura da soja em Goiás. **Mercator**, v. 9, n. 1, p. 121-134, 2010.
- McHUGH, O. V. *et al.* Performance of in situ rainwater conservation tillage techniques on dry spell mitigation and erosion control in the drought-prone North Wello zone of the Ethiopian highlands. **Soil & Tillage Research**, v. 97, n. 1, p. 19-36, 2007.
- MENDONÇA, L. A. R. *et al.* Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 89-98, 2009.
- MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no estado da Paraíba, Brasil. Campina Grande-Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 181-186, 2010.
- NASCIMENTO, S. P. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. 2009. 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2009.
- OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 17 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 89).
- OTSUBO, A. A. *et al.* Sistemas de preparo do solo, plantas de cobertura e produtividade da cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 327-332, 2008.
- PAIVA, A. S. *et al.* Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p.161-169, 2005.
- PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 248-254, 2005.

PEIXOTO, C. P. **Curso de fisiologia vegetal**. Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA. Cruz das Almas. 177 f, impressão eletrônica, 2011.

PICCININI, M. R. D. **Distribuições de probabilidade de precipitação de intensidade máxima para Piracicaba, SP**. 1993, 81f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agrônômica) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

REICHARDT, K. A **Água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Editora Manole Ltda, 1987.

REPELLI, C. A.; ALVES, J. M. B. Variabilidade interanual da estação chuvosa no estado do Ceará e a probabilidade de ocorrência de veranicos. Ceará - Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 3, p. 107-118, 1996.

RIBEIRO, A. G. A climatologia geográfica e a organização do espaço agrário. **Boletim de Geografia Teórica**, v. 23, n. 45/46, p. 34-38, 1993.

SAHRAWAT, K. L. *et al.* Managing natural resources of watersheds in the semi-arid tropics for improved soil and water quality: A review. **Agricultural Water Management** v. 97, n. 3, p.375-381, 2010.

SANTOS, A. N. **Alterações das propriedades físicas e químicas do solo em função de diferentes sistemas agrícolas**. 2007. 75f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007

SANTOS, E. R. dos; RIBEIRO, A. G. Clima e agricultura no município de Caramandel-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 5., 2002, Curitiba, **Anais...** Curitiba: UFPR, 2002.

SANTOS, M. G. *et al.* Photosynthetic parameters and leaf water potential of Five common beans genotypes under mild water deficit. **Biologic Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

SANTOS, M. S.; ALONÇO, A. S.; BAUHARDT, U. B. Principais fatores que influenciam o desempenho de escarificadores e subsoladores. Uma revisão de literatura. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 5, n. 1, p. 13-19, 2011.

SCHAEFER, C. E. G. R. *et al.*. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 669-678, 2002.

SECCO, D. *et al.* Atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SECCO, D. *et al.* Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

SECCO, D.; REINERT, D. J. Efeitos imediatos e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho escuro sob PD. **Engenharia Agrícola**, v. 16, n. 3, p. 52-61, 1997.

- SILVA, F. A. S.; RAO, T. V. R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3; p. 453-459, 2002.
- SILVA, J. C. A.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F. Avaliação da infiltração da água no solo como indicador de modificações edáficas em três sistemas de manejo. **Agropecuária Técnica**, v. 27, n. 2, p. 85–91, 2006.
- SILVA, M. A. S. *et al.* Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35 n. 3, p. 544-552, 2005.
- SILVA, M. S. L. da; GOMES, T. C. de A.; ANJOS, J. B. dos. **Solos adensados e/o compactados: identificação/diagnóstico e alternativas de manejo**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2001. 6p. (Embrapa Semiárido. Circular técnica 76).
- SILVA, M. S. L. *et al.* **Caracterização morfológica e física de solos adensados dos tabuleiros sertanejos do estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 25p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 134).
- SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial e climatológica da ocorrência de veranicos no sertão de Pernambuco. Recife, PE. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2010.
- STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos do sistema de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.
- TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.
- TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Caracterização da estrutura e da porosidade do solo sob preparo convencionas e semeadura direta de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1837-1844, 2009.
- TORMENA, C. A. *et al.* Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.
- VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1271-1280, 2007.
- VIRMANI, S. M., SIVAKUMAR, M. V. K.; REDDY, S. J. Climatic classification of the semi-arid tropics in relation to farming systems research. *In*: CONSULTANTS MEETING ON CLIMATIC CLASSIFICATION. ICRISAT, Andhra Pradesh, India. p. 27- 44, 1980
- XAVIER, T. M. B. S. **Tempo de Chuva**: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional. Editora ABC, Fortaleza, Ceará, 2001.

## **CAPÍTULO 1 – Estudos de veranicos como subsídio para a redução de riscos climáticos na agricultura no semiárido cearense**

### **RESUMO**

As ocorrências de veranicos têm ocasionado impactos na agricultura de sequeiro, afetando não só a produção de alimentos, mas, também, a socioeconomia das comunidades rurais. O conhecimento dessas ocorrências é de fundamental importância para o planejamento agrícola na busca da redução dos seus efeitos na produção agropecuária. O objetivo deste trabalho é quantificar e espacializar as frequências das ocorrências dos veranicos nas regiões climaticamente homogêneas do estado do Ceará; bem como, em uma escala pontual, quantificar e estratificar os veranicos ocorridos por classes de precipitação no município de Quixeramobim. Os veranicos foram identificados a partir da base diária de dados de precipitações ocorridas na quadra chuvosa (fevereiro-maio) em uma série histórica de 39 anos (1974-2012). Os veranicos foram distribuídos em seis classes de dias consecutivos secos (5-10 (1); 11-15 (2); 16-20 (3); 21-25 (4); 25-30 (5) e >30 (6)), utilizando-se de rotinas de Script S.Q.L em uma base de dados ORACLE. Os resultados mostraram que a região Central e Inhamuns, bem como a Jaguaribana apresentaram veranicos mais prolongados, expressando uma maior vulnerabilidade agrícola. Os meses de fevereiro e maio foram os de maior ocorrência dos veranicos, cuja distribuição entre as classes 1, 2 e 3 (95% do total de veranicos) aponta para a necessidade da adoção de técnicas em manejo do solo e planta na busca de melhores resultados na redução dos riscos da atividade agrícola de sequeiro. O uso dos dados das classes de precipitações pluviométricas (Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso) do município de Quixeramobim apresentaram-se mais adequados à sua realidade para o uso das informações no planejamento agrícola.

**Palavras-chave:** Regiões Climaticamente Homogêneas. Veranicos. Vulnerabilidade. Planejamento Agrícola



## **CHAPTER 1 - Dry spells as an aid in reducing climate risk to agriculture in Brazilian semi-arid regions**

### **ABSTRACT**

The occurrence of dry spells has caused considerable impact on rainfed agriculture, affecting not only food production but also the social economics of rural communities. Knowledge of these events is of fundamental importance in agricultural planning in the search to reduce their effects on production. The aim of this study is to quantify and spread out the frequency of the occurrence of dry spells in the homogeneous climate regions of the State of Ceará in Brazil, as well as on a local scale, to quantify and divide the occurrence of dry spells by rainfall class in the municipality of Quixeramobim. The dry spells were identified from the database of daily rainfall during the rainy season (February to May) in a 39-year historical time series (1974-2012). The dry seasons were divided into six classes of consecutive dry days: 5-10 (1); 11-15 (2); 16-20 (3); 21-25 (4); 25-30 (5); >30 (6), using SQL Script routines on an ORACLE database. The results showed that the Central and Inhamuns regions, as well as Jaguaribana, had more prolonged dry spells, indicating the greater agricultural vulnerability of these regions to the rainfall regime. February and May proved to be the months with the greatest occurrence of dry spells, where the distribution between classes 1, 2 and 3 (95% of the total dry spells) points to the need of adopting soil and plant management techniques in the search for better results in reducing the risks to rainfed agriculture. The use of data rainfall classes (Very Dry, Dry, Normal, Rainy and Very Rainy) in the municipality of Quixeramobim was the most appropriate as a real-world use of this information in agricultural planning.

**Keywords:** Homogeneous Climate Regions. Dry Spells. Vulnerability. Agricultural Planning.

## 1.1 Introdução

A característica mais comum das regiões semiáridas, no mundo, é a variabilidade das precipitações pluviométricas. Nestas, a distribuição espaço-temporal das precipitações é a principal condicionante à exploração dos recursos naturais (ICID, 1992; FUNCEME, 2009, BATISANI, YARNAL, 2010). Os sistemas de produção agrícola nessas áreas são limitados, principalmente, pelas vulnerabilidades do clima e dos recursos naturais. O desenvolvimento de pesquisas técnico- científicas na melhoria do uso dos recursos naturais seria o caminho para minimizar os riscos dessa atividade no semiárido (ICRISAT, 1978).

Nessas regiões, o clima passa a ter uma importância fundamental na organização do espaço agrícola e, principalmente, na determinação da tipologia do modelo de exploração da unidade produtiva. Com essas características se faz necessário um melhor conhecimento das aptidões edafoclimáticas da região e a definição de um modelo adequado a essas condições (DUQUE, 1973; SILVA; RAO, 2002; MARIANO, 2010).

Para Virmani *et al.* (1980), a variabilidade espacial dos recursos naturais nas regiões semiáridas tropicais é específica para cada localidade. Essa variabilidade (clima e recursos naturais) se manifesta de forma expressiva na região semiárida do Nordeste brasileiro. Essa heterogeneidade mostra que não há no Nordeste do Brasil somente um semiárido, mas, vários semiáridos (BNB, 2005). Para Ab'Sáber (1974), o semiárido do Nordeste é um clima azonal (atípico) de expressão regional.

Nos períodos de secas, com a redução da pluviometria, acentua-se a irregularidade na distribuição temporal e espacial das chuvas, proporcionando uma maior frequência na interrupção das precipitações pluviométricas (veranico), afetando o desenvolvimento das culturas pela redução do conteúdo da água no solo, provocado pela ausência das chuvas, ocasionando o déficit hídrico nas plantas (ASSAD *et al.*, 1993; McHUGH *et al.*, 2007; MENEZES *et al.*, 2008).

Resultados de estudos nesse sentido foram apresentados por Assad *et al.* (1993), Menezes *et al.*, (2008), Soares e Nóbrega, (2010) e Menezes *et al.* (2010), os quais mostram a importância dessas informações como instrumento de análise e planejamento na melhoria da redução dos riscos na atividade agrícola.

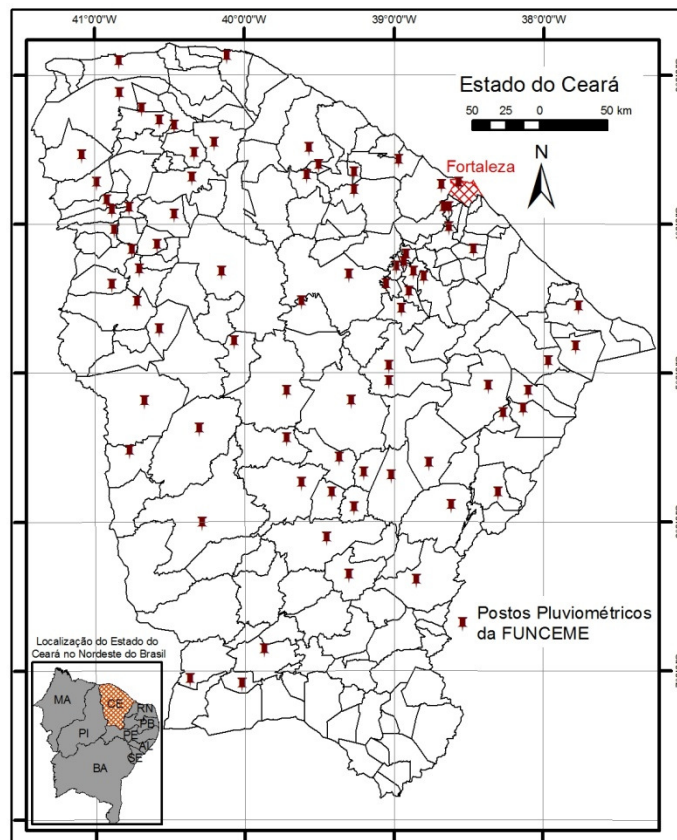
Com base no exposto, o trabalho tem como objetivos: a) quantificar as frequências das ocorrências de veranicos por classes do número de dias (5-10; 11-15; 16-20; 21-25; 25-30 e >30) no período (1974-2012) para os meses da quadra das chuvas (fevereiro a maio); b) espacializar os veranicos e suas frequências dentro das regiões climaticamente

homogêneas do estado do Ceará à exceção da região do Cariri (por seu período de chuva ser de janeiro a abril); c) quantificar as frequências e estratificar os veranicos ocorridos por classes das precipitações pluviométricas no município de Quixeramobim para o mesmo período de tempo (1974-2012).

## 1.2 Material e métodos

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados diários da precipitação pluviométrica do estado do Ceará pertencentes ao acervo da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Foram selecionados 77 postos pluviométricos, distribuídos nas regiões homogêneas à exceção da Região do Cariri (por apresentar o período das chuvas diferenciado - janeiro a abril) no período de 1974- 2012, perfazendo uma série histórica de 39 anos (Figura 1.1). Na busca de se ter uma melhor representatividade da precipitação pluviométrica da quadra chuvosa do estado do Ceará, considerou-se somente os meses de fevereiro a maio, por corresponder ao período chuvoso das regiões investigadas. O critério de seleção do mês inicial (fevereiro) fundamentou-se em argumentos apresentados por Repelli e Alves (1996), segundo os quais, após o dia 20 de fevereiro, as chuvas passam a ocorrer com maior frequência.

Figura 1.1 – Localização dos 77 postos pluviométricos utilizados na investigação



Fonte: Funceme (2013).

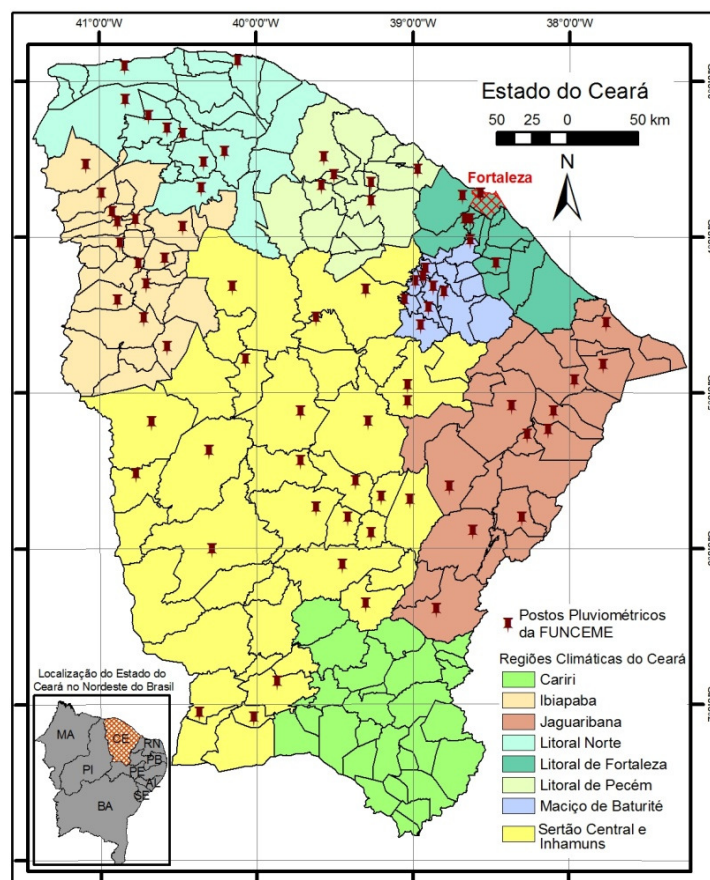
Para melhor entendimento, os veranicos foram agrupados em seis classes de dias sem chuva 5-10 (1); 11-15 (2); 16-20 (3); 21-25 (4); 26-30 (5) e >30 (6) e suas respectivas

datas de ocorrências para toda a série (1974-2012). Foi também gerado o total da pluviometria da estação chuvosa (quatro meses), o número de dias sem chuva da estação chuvosa e os meses de sua distribuição (fevereiro a maio). Os números de veranicos foram gerados pela da importação dos arquivos de dados pluviométricos para uma base de dados ORACLE e o processamento e extração por rotinas de Script S.Q.L.

Adotou-se neste estudo como limite, na definição de interrupção de dias consecutivos secos (veranicos), o mesmo adotado pela Funceme, ou seja, uma lâmina precipitada igual ou maior a 2 mm/dia.

Foram consideradas, sete das oito regiões pluviometricamente homogêneas (Litoral Norte (I), Litoral do Pecém (II), Litoral de Fortaleza (III), Maciço de Baturité (IV), Ibiapaba (V), Jaguaribana (VI) e Sertão Central e Inhamuns (VII), segundo a regionalização sugerida por Xavier (2001) (Figura 1.2).

Figura 1.2 – Regiões pluviometricamente homogêneas do Ceará



Fonte: Funceme (2013).

O último passo foi a análise do comportamento dos veranicos para o município de Quixeramobim, segundo a caracterização das precipitações pluviométricas em: Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso. (XAVIER, 2001).

### 1.3 Resultados e discussão

#### 1.3.1 Veranicos na escala estadual – Ceará

A partir dos números de veranicos nas regiões climatologicamente homogêneas, verifica-se maior ocorrência de veranicos nas regiões VII (4.594) e VI (2.060). As menores ocorrências foram nas regiões II (842) e III (648) (Tabela 1.1). A média do número de ocorrências de veranicos por município da região VII foi de 89,56 veranicos enquanto para a região III, 46,28. Isso demonstra maior vulnerabilidade dos municípios das regiões VII e VI quanto aos eventos dos veranicos.

Tabela 1.1 – Frequência das classes de veranicos por Região Homogênea

Região	Nº Veranicos	Veranicos Médios p/ Municípios	Classes de Veranicos					
			1	2	3	4	5	6
			Frequência (%)					
Ceará	12.061	78	66	20	7	4	2	1
I	1.231	56	69	20	5	3	1	2
II	842	53	70	18	6	3	2	1
III	648	46	71	21	5	2	1	0
IV	1.143	82	70	19	7	2	1	1
V	1.543	59	70	18	7	3	1	1
VI	2.060	90	64	21	8	4	1	2
VII	4.594	115	61	22	8	5	2	2

Regiões: litoral Norte (I); litoral do Pecém (II); litoral de Fortaleza (III); Maciço de Baturité (IV); Ibiapaba (V); Jaguaribana (VI) e Sertão Central e Inhamuns (VII).

Classe Veranico: 5-10 dias (1); 11-15dias (2); 16-20 dias (3); 21-25dias (4); 26-30 dias (5) e >30 dias (6).

Fonte: Funceme (2013).

Percebe-se, como um ponto comum a todas as regiões, a ocorrência de maior frequência nas classes dos menores veranicos com uma contínua e gradual redução para os maiores. As diferenças entre as regiões são verificadas pela distribuição dos números de veranicos e suas respectivas frequências.

Assim, verifica-se que as regiões Jaguaribana, Central e Inhamuns apresentaram maior número de ocorrência de veranicos e menores frequências para a classe de veranicos 1. Já para as classes de veranicos 2; 3; 4; 5 e 6 foram observadas maiores frequências (Tabela 1.1).

Os aumentos nas frequências das classes de maiores veranicos (2 a 6) nas regiões VI e VII é um indicador para distinguir a maior vulnerabilidade dessas regiões às condições climáticas impróprias à produção agrícola com conseqüente insucesso à agricultura de sequeiro. A ampliação do número de dias sem chuva reduz, rapidamente, a umidade do solo e

provoca o déficit hídrico na planta. Essas regiões (VI e VII) são as que apresentam as menores médias anuais das precipitações pluviométricas (Central e Inhamuns, 507,5 mm; Jaguaribana, 614,8 mm).

A organização do espaço geográfico (especialização) em regiões de elevada variabilidade climática é essencial para a proposição de alternativas para melhorias no desenvolvimento do setor agrícola (MARIANO, 2010). O conhecimento dessas vulnerabilidades se apresenta como o suporte para o desenvolvimento de pesquisas adequadas às diferenças regionais. Carvalho *et al.* (2000), em estudos com especialização do período de veranicos e níveis de perdas, verificaram maiores níveis de perda de produção à medida que eram maiores os veranicos. Observações desta mesma natureza, também, foram citadas por Menezes *et al.* (2008) na Paraíba, quando em estudos de veranicos prolongados nas regiões do Agreste e Cariri/Curimataú.

Observa-se, ainda, que a maior frequência da ocorrência dos veranicos encontra-se na classe de veranicos 1 (68% na média das regiões homogêneas), seguidas pelas classes de veranicos 2 (20% na média das regiões homogêneas) e de 3 (7% na média das regiões homogêneas). Nestas três faixas de veranicos de todas as regiões estão concentrados 95% de todos os veranicos que ocorreram no período de 1974-2012 (39 anos). Os 5% restantes estão distribuídos entre as classes de veranicos 4, 5 e 6. Estes dados sugerem o desenvolvimento de pesquisas com estudos em manejo do solo, visando ampliar a capacidade de armazenamento de água que possa neutralizar os efeitos do déficit hídrico, gerado por veranicos que compõem estas três classes.

Em uma análise mais específica, veranicos ocorridos em escala mensal (Tabela 1.2), observa-se claramente que é no mês de fevereiro e maio que ocorrem as maiores incidências de veranicos sendo o mês de abril o de menor ocorrência. Essas informações estão em sintonia com as informações deixadas por Repelli e Alves (1996), ao demonstrarem que o período de menor probabilidade de ocorrência de veranicos estaria entre 20 de fevereiro e 10 de maio. O mês de março apresenta-se ligeiramente superior ao de fevereiro a partir dos veranicos nas classes 4, 5 e 6 e com uma frequência de ocorrência muito baixa.



Tabela 1.2 – Distribuição mensal por classes de veranicos nas regiões homogêneas

Região	Meses	Classes de Veranicos					
		1	2	3	4	5	6
		Frequência (%)					
I	Fev	28	26	31	8	8	0
	Mar	20	18	14	14	0	26
	Abr	21	18	5	11	0	0
	Mai	31	38	50	68	92	74
II	Fev	30	39	25	20	18	0
	Mar	18	18	32	12	6	14
	Abr	20	11	8	8	0	0
	Mai	32	33	36	60	76	86
III	Fev	31	37	27	29	33	0
	Mar	19	22	21	14	33	0
	Abr	18	12	6	0	0	0
	Mai	32	29	45	57	33	100
IV	Fev	34	38	26	20	33	0
	Mar	21	24	30	10	0	2
	Abr	17	10	6	20	17	0
	Mai	29	28	38	50	50	80
V	Fev	28	35	20	7	14	0
	Mar	20	18	13	17	9	22
	Abr	20	13	6	20	5	0
	Mai	33	34	61	56	73	78
VI	Fev	28	33	24	18	35	0
	Mar	26	23	24	32	13	16
	Abr	18	19	17	7	23	0
	Mai	28	26	36	43	29	84
VII	Fev	27	31	20	19	16	0
	Mar	28	23	27	22	20	9
	Abr	20	21	15	15	9	0
	Mai	25	25	37	44	55	91

Regiões: litoral Norte (I); litoral do Pecém (II); litoral de Fortaleza (III); Maciço de Baturité (IV); Ibiapaba (V); Jaguaribana (VI) e Sertão Central e Inhamuns (VII).

Classe Veranico: 5-10 dias (1); 11-15dias (2); 16-20 dias (3); 21-25dias (4); 26-30 dias (5) e >30 dias (6).

Fonte: Funceme (2013).

Esses resultados permitem sua aplicação no planejamento do calendário agrícola, selecionando as técnicas mais adequadas para: o preparo do solo, a época de plantio, o sistema de cultivo, dentre outros, objetivando o alcance de resultados na redução dos riscos de perdas de safras, ocasionadas pelos veranicos, conseqüentemente garantia da produção alimentar.

### 1.3.2 Veranicos em escala de município – Quixeramobim - CE

Em um estudo mais detalhado elaborou-se uma investigação dos eventos de veranicos para o município de Quixeramobim, que se localiza na região central do estado e se encontra entre as isoietas de menor precipitação pluviométrica sobre o território do estado do Ceará,

Na Tabela 1.3 observa-se o comportamento dos veranicos para o município de Quixeramobim, segundo a caracterização dos períodos secos e chuvosos proposta por Xavier, (2001).

Tabela 1.3 – Pluviometria (P), pluviometria média (Pm), faixa de número de dias sem chuva (DSC), média do número de dias sem chuva (DSCm), faixa do número de veranicos por classe de precipitação (FV), e médias dos veranicos (Vm) por classe de precipitação (1974-2012)

Classes de Precipitação	P (mm)	Pm (mm)	DSC	DSCm	FV	Vm
M. Chuvoso	803-1040	883	57-80	69	2-4	3
Chuvoso	607-760	674	72-94	82	5-6	6
Normal	456-590	529	74-95	85	3-7	5
Seco	383-443	414	82-103	94	3-7	5
M. Seco	158-338	248	90-110	101	5-8	7

Fonte: Funceme (2013).

Pelo exposto na Tabela 1.3, percebe-se a grande influência das faixas de precipitação tanto nos totais de dias sem chuvas, quanto no número de veranicos e suas frequências, bem como na sua distribuição.

Analisando, somente, a componente da pluviometria (Tabela 1.3), verifica-se uma grande variabilidade das chuvas no decorrer dos anos, variando de 158 mm, em um ano muito seco (quatro meses), para 1.040 mm em um ano muito chuvoso (também quatro meses). A precipitação máxima dessa série de 39 anos (1.040 mm) em um ano muito chuvoso é 6,5 vezes superior à precipitação mínima (158 mm) que ocorreu em um ano muito seco (Tabela 1.3).

Diferença esta fundamental quando se envolvem decisões na atividade agrícola quanto à localidade e época de plantio de determinadas culturas, principalmente, quando do uso de informações oriundas de metodologias que adotam a média anual das precipitações para o planejamento agrícola municipal/estadual. Assim, pelos dados das precipitações pluviométricas do município de Quixeramobim, durante o período de 1974-2012, a média das

precipitações para a quadra de chuva de fevereiro a maio é de 515 mm, ou seja, uma precipitação que não corresponde com a realidade do que ocorre de ano para ano (Tabela 1.3).

Essa variabilidade das chuvas no estado do Ceará comprova, mais uma vez, as citações feitas por Duque (1973), Ab' Sáber (1974) e BNB (2005), de que a variabilidade das precipitações que ocorre no Nordeste é manifestada pela localização a que esta região do Brasil esta inserida no globo terrestre, como uma zona de transição e, portanto, atípica para todas as outras regiões do semiárido do mundo.

O resultado dos componentes (Pm, DSCm e Vm), segmentado por faixas de precipitação, reflete a tendência natural das variabilidades temporal e espacial da precipitação e disponibiliza informações mais precisas e com maior detalhamento dos veranicos para os municípios.

Esses resultados, apesar de estarem focados no estudo dos comportamentos e distribuição dos veranicos, assemelham-se com o vivenciado por Andrade Júnior *et al.* (2005) na classificação e regionalização das regiões no Piauí, onde os mesmos fazem, também, restrições ao uso da média anual das chuvas como o critério definido para a classificação climática e regionalização do semiárido, como o utilizado por Lima *et al.* (2000).

O uso das informações provenientes da segmentação das faixas de precipitação para o planejamento agrícola e definição da tipologia dos sistemas produtivos apresenta-se como o mais adequado à realidade do município de Quixeramobim, pois permite definir, para cada ano, ações mais apropriadas para o ano a ser trabalhado.

Ainda pela Tabela 1.3 se identifica que o intervalo do número de dias sem chuva para os anos muito chuvosos fica entre 57-80 dias, com uma média de 69 dias; para os anos chuvosos a faixa do número de dias sem chuva é 72-94 dias, com uma média de 82 dias. Nos anos normais, a faixa fica entre 74-95 dias, com 85 dias na média; já para os anos secos esta se encontra entre 82-103 dias, com 94 dias em média; e para anos muito secos fica entre 90-110 dias, com 101 dias em média. Esses resultados mostram uma lógica já esperada, ou seja, quanto maior a precipitação da quadra das chuvas menor a quantidade do número de dias sem chuva, embora em algumas das faixas (chuvosa e normal; seca e muito seca) elas estejam muito próximas uma da outra. Para Xavier (2001), as designações de “seco” e “muito seco” referem-se, apenas, a uma condição de insuficiência na precipitação pluvial e não sobre a insuficiência de água disponível no solo.

Já o componente do número total de veranicos apresenta um comportamento um pouco diferente dos demais. Observando os intervalos de ocorrências dos veranicos para cada faixa de precipitação (anos chuvosos, muito chuvosos, normais, secos e muito secos) verifica-

se que ocorrem de dois a quatro veranicos quando os anos são muito chuvosos, cinco a seis para anos chuvosos, três a sete para anos normais, também três a sete para os secos e cinco a oito para os muito secos. Observações dessa natureza, também, foram realizadas por Soares e Nóbrega, (2010), os quais relataram que a quantidade de eventos dos veranicos e o período de duração de cada um deles variam de ano para ano.

Durante a série estudada ocorreram, somente, três anos chuvosos, destacando-se pelos elevados números de eventos de veranicos, com uma média de 6, ultrapassando os anos normais (5) e secos (5). No entanto, 82% estão na faixa de veranico 1; 6% na faixa de veranico 2 e 12% de faixa de veranico 3. Em anos normais 63% estão na faixa de veranico 1; 29% na faixa de veranico 2, 6% na faixa de veranico 3, e 2% na de veranico 6. Já para os anos muito secos, 54% estão na faixa de veranico 1; 20% na faixa de veranico 2, 9% na de veranico 3, 2% na de veranico 5, e 2% na faixa de veranico 6 (Tabela 1.4).

A média de veranicos ocorridos na série histórica (1994-2012) no município de Quixeramobim ficou em torno de cinco eventos por ano (Tabela 1.3), um pouco abaixo dos encontrados por Soares e Nóbrega, (2010) com uma média de seis a sete veranicos por ano, para as regiões do sertão Pernambucano e Nobre *et al.* (1998) com 6,7 veranicos por ano para a microrregião de Araripina, também, em Pernambuco.

O número de eventos de veranicos, por si só, não é o fator determinante no aumento dos riscos na agricultura de sequeiro, uma vez que eles podem acontecer com poucos dias consecutivos sem chuva, não causando danos às plantas.

A Tabela 1.4 apresenta a frequência por classes de veranicos e precipitação. Essa tabela mostra o comportamento da distribuição dos veranicos perante a caracterização da tipologia dos anos quanto à pluviometria (anos chuvosos, muito chuvosos, normais, secos e muito secos).

Tabela 1.4 – Distribuição de frequência dos eventos por classes de veranicos e de precipitação (Quixeramobim – Ce)

Classes das Precipitações Pluviométricas	Classes de Veranicos					
	1	2	3	4	5	6
	Frequência (%)					
Muito chuvoso	82	12	6	-	-	-
Chuvoso	82	6	12	-	-	-
Normal	63	29	6	-	-	2
Seco	59	18	15	4	2	2
Muito Seco	54	20	9	13	2	2

Classe Veranico: 5-10 dias (1); 11-15dias (2); 16-20 dias (3); 21-25dias (4); 26-30 dias (5) e >30 dias (6).

Fonte: Funceme (2013).

Pela distribuição de frequência dos veranicos nas classes das precipitações Pluviométricas (Tabela 1.4), observa-se que, em anos muito chuvosos e chuvosos, a maior frequência (82%) é registrada na classe de veranico 1; enquanto 12% foram enquadrados na classe de veranico 2 e somente 6% na classe de veranico 3. Com a redução das precipitações pluviométricas a tendência é um decréscimo na ocorrência dos menores veranicos e um aumento dos maiores veranicos. Pode-se, ainda, concluir que, praticamente, os 5% dos maiores veranicos (classes 4, 5 e 6) só ocorreram em anos secos e muito secos.

Comparando-se os dados Tabela 1.1 (distribuição das classes de veranicos por região homogênea) com os da Tabela 1.4 (distribuição das classes de veranicos por classe das precipitações pluviométricas) verifica-se que somente com a segmentação das precipitações pluviométricas é que se observa o detalhamento da distribuição dos veranicos em relação aos períodos secos e chuvosos.

A ocorrência dos maiores veranicos em anos considerados normais, secos e muito secos possibilita disponibilizar informações importantes na tomada de decisão no planejamento, para minimizar o decréscimo na produção da atividade agrícola de sequeiro. Menezes *et al.*, (2010), em pesquisa com veranico e produção agrícola na Paraíba, associaram-na à duração dos veranicos. Já Silva e Rao, (2002), relatam que os veranicos se constituem problemas, quando vão além dos dez dias, principalmente quando eles coincidem com os estádios fenológicos da floração e da formação e enchimento dos grãos.

A Tabela 1.5 expressa como o conhecimento mais detalhado sobre a distribuição dos veranicos pode contribuir na melhoria das informações para o planejamento da safra, atentando, exatamente, para a fenologia da planta em função da época de plantio e da tipologia do sistema produtivo (manejo do solo, espaçamento, variedades entre outras técnicas de cultivo). No município de Quixeramobim, “abril” é o mês mais adequado para o desenvolvimento das fases de maior requerimento de água (floração e enchimento dos grãos). Assim, o conhecimento do momento adequado para o plantio com menor risco de fracasso quanto à distribuição das precipitações pluviométricas poderá oferecer um suporte para um planejamento mais real às condições do semiárido com conseqüente redução dos riscos decorrentes das variabilidades das precipitações pluviométricas.

Tabela 1.5 – Distribuição temporal dos veranicos por classe das precipitações pluviométricas (Quixeramobim – Ce)

Classe de Precipitação	Meses	Classe de Veranicos					
		1	2	3	4	5	6
		Frequência (%)					
Muito Chuvoso	Fev	43	50	50	-	-	-
	Mar	21	-	-	-	-	-
	Abr	7	-	-	-	-	-
	Mai	29	50	50	-	-	-
Chuvoso	Fev	29	-	-	-	-	-
	Mar	28	-	-	-	-	-
	Abr	14	-	50	-	-	-
	Mai	29	100	50	-	-	-
Normal	Fev	23	17	50	-	-	-
	Mar	33	22	25	-	-	-
	Abr	13	28	-	-	-	-
	Mai	31	33	25	-	-	100
Seco	Fev	34	30	38	-	-	-
	Mar	3	40	38	-	-	-
	Abr	28	30	-	50	-	-
	Mai	35	-	24	50	100	100
Muito Seco	Fev	12	33	25	33	-	-
	Mar	36	44	25	33	100	-
	Abr	28	-	-	17	-	-
	Mai	24	23	50	17	-	100

Classe de Veranicos: 5-10 dias (1); 11-15dias (2); 16-20 dias (3); 21-25dias (4); 26-30 dias (5) e >30 dias (6).  
Fonte: Funceme (2013).

Os resultados apresentados após a segmentação por classe das precipitações pluviométricas de acordo com a regionalização proposta por Xavier (2001) mostram que, em se tratando do clima nas regiões semiáridas, a regionalização ainda não representa a dimensão ideal para o desenvolvimento de políticas em melhorias na redução dos riscos climáticos. Análises mais detalhadas como as realizadas neste trabalho para outros municípios contribuirão para melhorar a espacialização destes dados, gerando informações mais relevantes para as tomadas de decisão no desenvolvimento da agricultura de sequeiro.

## 1.4 Conclusão

1. Dentre as regiões pluviometricamente homogêneas, a região Central e Inhamuns, bem como a Jaguaribana apresentaram uma maior vulnerabilidade agrícola, uma vez que o número de veranicos superiores a vinte dias se aproxima do dobro aos ocorridos nas outras regiões de precipitação similar. Portanto, o uso de informações considerando somente o total precipitado deve ser revisto.
2. As distribuições dos veranicos entre as classes 1, 2 e 3 (95% do total de veranicos) apontam para a necessidade da adoção de técnicas em manejo do solo e planta, na busca de melhores resultados na redução dos riscos da atividade agrícola de sequeiro.
3. Os meses de fevereiro e maio são os de maior ocorrência dos veranicos. Abril mostrou-se como o de menor ocorrência em todo o período estudado.
4. O uso das informações provenientes da segmentação das faixas de precipitação para o uso no planejamento agrícola e definição da tipologia dos sistemas produtivos é o mais adequado à realidade do município de Quixeramobim, pois permite definir, antecipadamente, para cada ano, ações mais apropriadas à redução dos riscos climáticos.

## REFERÊNCIAS

- AB' SÁBER, A. N. O Domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, São Paulo: IGEOP, n. 43. 1974.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. *et al.* Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, p. 143-151, 2005.
- ASSAD, E. D. *et al.* Veranicos na região dos Cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 993-1003, 1993.
- BATISANI, N; YARNAL, B. Rainfall variability and trends in Semi-Arid Botswana: Implications for climate change adaptation policy. **Applied Geography**, v. 30, n. 4, p. 483-489, 2010.
- BNB. Banco do Nordeste do Brasil; Funceme. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Proposta de dimensionamento do semiárido brasileiro**. Fortaleza, CE: Banco do Nordeste do Brasil-BNB, 2005.
- CARVALHO, D. F. *et al.* Espacialização do período de Veranico para diferentes níveis de perda de produção na cultura do milho, na Bacia do Rio Verde Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 172-176, 2000.
- DUQUE, J. G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. 2. ed. Banco do Nordeste do Brasil S.A., 1973, 238p.
- FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos **Compartimentação Geoambiental do Estado do Ceará**. Fortaleza-CE. 2009.
- ICID. International Conference on Impacts of Climatic Variations and Sustentable Development in Semi-Arid regions. Fortaleza-Ceará, Brasil., 1992, 267p.
- ICRISAT. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics - International Workshop on the Agroclimatological Research Needs of the Semi-Arid Tropics. Hyderabad, Índia. 230p, 1978.
- LIMA, I. M. de M. F.; ABREU, I. G.; LIMA, M. G. Semi-árido piauiense: delimitação e regionalização. **Carta CEPRO**, v. 18, n. 1, p. 162-183, 2000.
- MARIANO, Z. de F. Precipitações pluviais e a cultura da soja em Goiás. **Mercator**, v. 9, n. 1, p. 121-134, 2010.
- McHUGH, O. V. *et al.* Performance of in situ rainwater conservation tillage techniques on dry spell mitigation and erosion control in the drought-prone North Wello zone of the Ethiopian highlands. **Soil & Tillage Research**, v. 97, n. 1, p. 19-36, 2007.
- MENEZES, H. E. A. *et al.* A Relação entre a Temperatura da Superfície dos Oceanos Tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 152-161, 2008.



MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no estado da Paraíba, Brasil. Campina Grande-Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4.n. 2, p. 181-186, 2010.

NOBRE, P. *et al.* Um estudo da variabilidade interanual de veranicos sobre o Sertão de Pernambuco e suas relações com temperatura da superfície do mar. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.

REPELLI, C. A.; ALVES, J. M. B. Variabilidade interanual da estação chuvosa no estado do Ceará e a probabilidade de ocorrência de veranicos. Ceará - Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 3, p. 107-118,, 1996.

SILVA, F. A. S.; RAO, T. V. R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3; p. 453-459, 2002.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial e climatológica da ocorrência de veranicos no sertão de Pernambuco. Recife, PE. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2010.

VIRMANI, S. M., SIVAKUMAR, M. V. K.; REDDY, S. J. Climatic classification of the semi-arid tropics in relation to farming systems research. *In*: CONSULTANTS MEETING ON CLIMATIC CLASSIFICATION. ICRISAT, Andhra Pradesh, India. p. 27-44, 1980

XAVIER, T. M. B. S., **Tempo de chuva**: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional. Editora ABC, Fortaleza, Ceará, 2001.

## **CAPÍTULO 2 - Manejo do solo e a disponibilidade hídrica para agricultura de sequeiro no semiárido cearense**

### **RESUMO**

Períodos de deficiências hídricas ocasionados pela variabilidade temporal do regime pluviométrico (veranicos) têm impactado negativamente nos resultados da produção agrícola de sequeiro. Práticas de manejo na conservação do solo e água são necessários para reduzir os efeitos do clima no rendimento das culturas. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos de práticas e manejos no armazenamento da água no solo. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em parcelas subdivididas com cinco sistemas de manejo, em duas camadas de solo (0,15 e 0,30 m) com quatro (4) repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco sistemas diferenciados de práticas de preparo e manejo do solo: O tratamento 1 (P), solo mobilizado somente pela enxada no plantio; tratamento 2 (ESC), solo escarificado a 0,30 m; tratamento 3 (CS), solo com subsolagem e aplicação da técnica de captação “in situ”; o tratamento 4 (CCM) e 5 (CCO) são as mesmas práticas do anterior adicionada a cobertura morta para o CCM e a cobertura morta e compostagem para o CCO. Os resultados demonstraram que o conteúdo de água no solo sofreu variações diferenciadas entre os manejos pela influência da intensidade das precipitações pluviométricas, das práticas de preparo, manejo do solo e do desenvolvimento das culturas. O manejo CCO (subsolagem + captação “in situ”+ cobertura do solo+ composto orgânico) mostrou-se durante todo o ciclo do cultivo do feijão-de-corda como o de maior capacidade no armazenamento e retenção da água principalmente na ocorrência de veranicos.

**Palavras-chave:** Veranicos. Agricultura de Sequeiro. Manejo do Solo. Armazenamento de Água. Semiárido.

## **CHAPTER 2 – Soil management and water availability for rainfed agriculture in semi-arid regions**

### **ABSTRACT**

Periods of water deficit caused by the temporal variability of rainfall (dry spells) have had a negative impact on the production of rainfed agriculture. Management practices in the conservation of soil and water are needed in order to reduce the effects of climate on crop yields. The aim of this study is to evaluate the effects of management practices on the storage of water in the soil. The experimental design was completely randomised into split lots with five management systems for two layers of soil (0.15 and 0.30 m) with four (4) replications. The treatments were made up of five different systems of soil preparation and management: treatment 1 (P), soil turned only by hoe at planting; treatment 2 (ESC), soil scarified to 0.30m; treatment 3 (CS), soil with subsoiling and the use of *in situ* catchment; treatment 4 (CCM) and 5 (CCO), similar to the previous system, with the addition of mulch for CCM and of mulch and compost for CCO. The results showed that the water content in the soil suffered variations between the different managements due to the influence of rainfall intensity, of soil preparation and management practices, and of crop development. The soil management CCO (subsoiling + *in situ* catchment + mulching + organic compost), proved to be, throughout the crop cycle of the string bean, the one having the greatest capacity for the storage and retention of water, especially during dry spells.

**Keywords:** Dry spells. Rainfed Agriculture. Soil Management. Water Storage. Semi-Arid. Water Availability.

## 2.1 Introdução

A variabilidade das precipitações pluviométricas (distribuição espaço-temporal) é a principal responsável pela insuficiência hídrica em cultivos da agricultura de sequeiro nas áreas semiáridas do Nordeste do Brasil. A inadequação dos sistemas produtivos à esta variável tem contribuído para o elevado risco da atividade agrícola, gerando fortes impactos econômicos, sociais e ambientais (DUQUE, 1973; ARAÚJO FILHO; BARBOSA, 1999; ARAÚJO FILHO, 2002; ANJOS *et al.*, 2007).

Vários pesquisadores (Virmani *et al.* 1980; Anjos *et al.* 1999; Antonino *et al.* 2000) mostraram que a disponibilidade de água no solo é o principal obstáculo para a garantia da produção e o fator chave a ser trabalhado na atividade agrícola em regiões onde as restrições climáticas são evidentes.

O solo, a água e os sistemas de produção constituem componentes importantes, principalmente, em áreas com cultivos em sequeiro. Práticas de conservação de solos e água contribuem para a manutenção de maior harmonia desses componentes, garantindo maior estabilidade aos sistemas produtivos nos períodos de irregularidade das chuvas (SAHRAWAT *et al.*, 2010).

A introdução de técnicas aos sistemas produtivos na gestão do solo e água adaptados para as características edafoclimáticas, em regiões semiáridas, tem apresentado resultados satisfatórios no aumento do armazenamento da água no solo e melhorado a eficiência dos cultivos em várias regiões semiáridas (HILLEL, 1970; PINHEIRO *et al.*, 2004; BESCANSÁ *et al.*, 2006; MCHUGH *et al.*, 2007; ANJOS *et al.*, 2007; CAYCI *et al.*, 2009; SAHRAWAT *et al.*, 2010).

Sistemas de manejo associados com diferentes técnicas no preparo do solo e condução dos cultivos alteram diferenciadamente, as propriedades físicas e hídricas do solo (densidade, porosidade, infiltração, dentre outros STONE; MOREIRA, 2000; TORMENA *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2005; BERTOL *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2011). Sabe-se, também, que as propriedades físicas do solo sofrem alterações tanto pelos efeitos do clima (SILVA *et al.*, 2001; BERTOL, 2007; MCHUGH *et al.*, 2007), como ao longo do tempo (DALMAGO, 2004; REICHERT *et al.*, 2009).

A variabilidade temporal dos eventos pluviométricos resulta no fenômeno do veranico (dias consecutivos sem chuva), o qual define o estresse hídrico na agricultura de sequeiro. O uso da cobertura morta e matéria orgânica como técnicas de manejo para melhorias na capacidade de retenção da água no solo foram demonstrados por diferentes

pesquisadores em distintas regiões do globo. (ALBUQUERQUE *et al.*, 2002; SCHAEFER *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2004; BESCANSÀ *et al.*, 2006; LLANILLO *et al.*, 2006; BRANDÃO *et al.*, 2007).

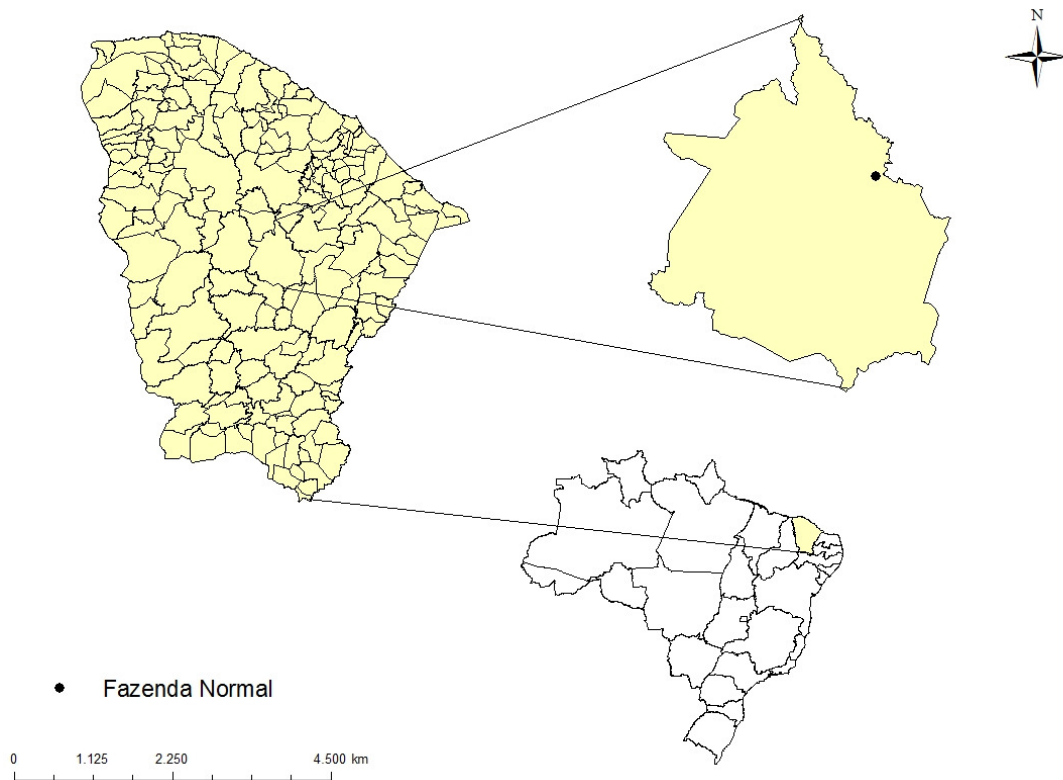
Conhecer os efeitos das práticas agrícolas, incorporadas em diferentes sistemas de manejo do solo na captação e retenção da água em ambiente semiárido no campo, permitirá melhor entender as relações entre essas técnicas e o armazenamento de água no solo. O entendimento dessas relações geram subsídios na escolha de práticas, com vistas a superar os veranicos pela redução dos riscos de perdas de safra na agricultura de sequeiro em áreas do semiárido. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo é o de avaliar os efeitos dessas práticas e manejos no armazenamento da água no solo.

## 2.2 Material e métodos

### 2.2.1 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi realizada na Fazenda Normal de propriedade da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (Ematerce), no município de Quixeramobim, situado na zona fisiográfica do Sertão Central (5° 12' 08" S, 39° 17' 11" W) a uma altitude média de 250 m, distando 210 km da capital do Estado (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Localização da área experimental



Fonte: O autor.

O clima do município é do tipo semiárido quente e seco BSh'w', conforme classificação de Köppen. A estação das chuvas tem uma duração de três a quatro meses (fevereiro a maio) e a estação seca, com oito meses de duração, sem chuvas, de junho a janeiro, sendo os meses de outubro a dezembro os mais secos e quentes.

Os valores das temperaturas médias máximas diárias são registrados entre setembro e dezembro com valores entre 32-38 °C, coincidindo com o final da estação seca. Os registros das temperaturas médias mínimas diárias ocorrem entre junho e agosto, sendo a mais baixa de 21,2 °C em julho e a precipitação pluviométrica está entre as isoietas de 500 a

750 mm. A evapotranspiração potencial é de 1.929 mm e a velocidade dos ventos é, em média, de 1,44 km h<sup>-1</sup>, com direção predominante nordeste.

A vegetação primitiva é oriunda de essência de floresta hiperxerófila e uma pequena parte da floresta caducifólia de várzea, cujas espécies mais representativas são: *Cróton* sp. (marmeleiro), *Pithecolobium diversifolium* Benth (Jurema branca), *Mimosa nigra* Hub. (Jurema preta), *Cobretum leprosum* Mart. (Mofumbo), *Ziziphus joazeiro* (Juazeiro), *Cereus jamacaru* DC, (Mandacaru), *Copernícia prunifera* (Carnaubeira), dentre outras.

O relevo da área em sua grande extensão é plano a suave ondulado, ocorrendo de maneira espaçada maciços residuais de relevo fortemente ondulado a montanhoso, com um padrão de drenagem superficial do tipo treliça, formada por cursos d'água intermitentes.

O solo trabalhado pertence à classe dos Argissolos Vermelho eutrófico (Apêndice A).

Tabela 2.1 – Atributos físicos nas camadas de (0–0,15) m e (0,15–0,30) m, do solo da área experimental da Fazenda Normal, em Quixeramobim, Ce, 2012

Atributos físicos	Profundidade (m)	
	0 – 0,15	0,15 – 0,30
Granulometria	-	-
Areia total (g kg <sup>-1</sup> )	814	674
Areia muito grossa (g kg <sup>-1</sup> )	91,24	68,75
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> )	179,00	137,09
Areia média (g kg <sup>-1</sup> )	169,00	148,15
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> )	255,35	208,80
Areia muito fina (g kg <sup>-1</sup> )	119,41	111,21
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	125	147
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	61	179
Classe textural	Franco Arenoso	Franco Arenoso
Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )	1,68	1,75
Densidade das partículas (kg dm <sup>-3</sup> )	2,59	2,54
Porosidade (%)	0,37	0,34

Fonte: O autor.

### 2.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi composto por cinco sistemas de manejo do solo (tratamentos). O delineamento experimental adotado para o estudo da umidade do solo foi o inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, com cinco sistemas de manejo, em duas camadas de

solo (0,00-0,15 e 0,15-0,30 m) e com quatro repetições, perfazendo um total de quarenta unidades experimentais. As unidades experimentais foram espaçadas entre si, por 1 m.

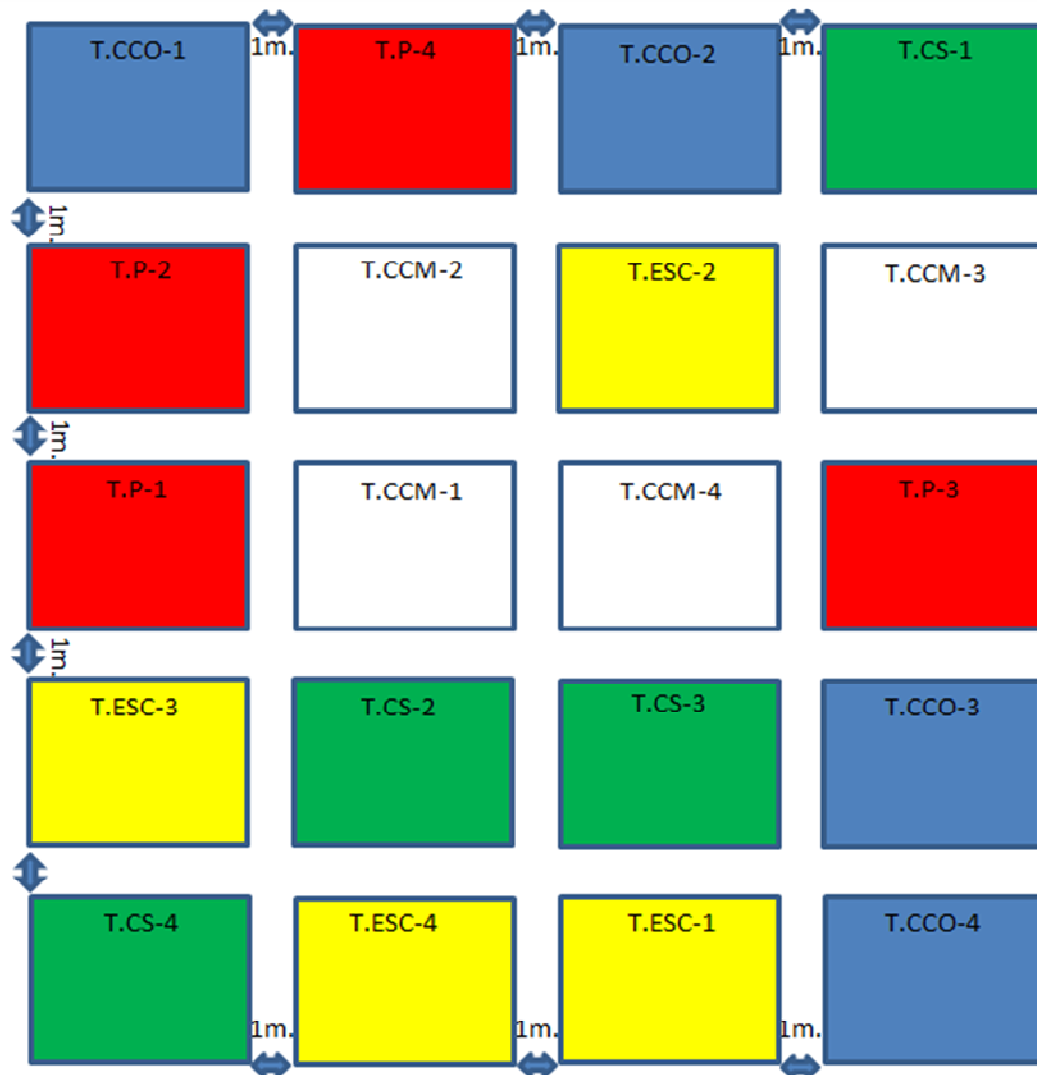
As parcelas tinham dimensões de 5m x 7m com área útil de 15 m<sup>2</sup>. A área total do experimento foi de 2.250 m<sup>2</sup>. A cultura instalada foi o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivar “Setentão”, com semeadura manual, em todos os tratamentos.

Os tratamentos representam cinco sistemas de produção decorrentes de diferentes sistemas de preparo do solo (Figura 2.2):

- Tratamento 1 (T-P) – Sistema de produção com preparo do solo, usualmente, utilizado pelos pequenos produtores familiares com menos de 2 ha, cuja técnica consta, somente, do uso da enxada como equipamento de preparo do solo. O plantio foi realizado em solo totalmente nu.
- Tratamento 2 (T-ESC) – Sistema de produção com o preparo do solo realizado com uma escarificação mecânica, composta de sete escarificadores com hastes rígidas acopladas na barra porta ferramentas, a uma profundidade de 0,25-0,30 m e espaçamento de 0,25 m.
- Tratamento 3 (T-CS) – Sistema de produção com o preparo do solo iniciado com uma subsolagem a uma profundidade de 0,30 m, composta por três subsoladores de levante hidráulico no sistema de três pontos, acoplados a uma barra porta ferramentas e, posteriormente, com o uso de sulcadores na mesma profundidade (0,30 m), realizados os sulcos como o recomendado pela técnica de captação *in situ*.
- Tratamento 4 (T-CCM) – Aplicou-se o mesmo manejo do tratamento 3, adicionando-se a este, uma cobertura morta com os restos da vegetação da área do experimento e de suas vizinhanças.
- Tratamento 5 (T-CCO) – Este tratamento foi implementado da mesma forma que os tratamentos 3 e 4, com a incorporação do composto orgânico (20 ton/ha), produzido com restos de vegetais e esterco oriundos do próprio local e, logo após, adicionada a cobertura morta.



Figura 2.2 – Croqui das parcelas e tratamentos da área experimental, Quixeramobim, Ce



Legenda: T-P – Tratamento 1      T- ESC – Tratamento 2      T-CS – tratamento3;  
 T-CCM – Tratamento 4      T-CCO – Tratamento 5.

Fonte: O autor.

### 2.2.3 Determinação dos atributos físicos do solo

Os atributos físicos do solo foram avaliados no início do experimento. Foi aberta uma trincheira para análise inicial das condições atuais do solo, com o objetivo de se fazer a sua classificação, possibilitando identificar, horizontes adensados ou compactados, a servir de base comparativa na verificação de possíveis ocorrências de modificações pedológicas, que possam ter sido impostas pelos diferentes manejos empregados.

#### 2.2.4 Coleta e análises de solo

As amostras do solo com estrutura indeformada foram retiradas com um amostrador do tipo Uhland, sendo coletadas quatro amostras, duas no início do experimento e duas ao final, em cada unidade experimental. As amostras foram extraídas das camadas de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m, sendo determinados os seguintes atributos físicos do solo:

- 1.curva característica de retenção de água;
- 2.densidade;
- 3.porosidade (total, micro e macro).

Todas as análises físicas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciências do Solo (DCS), do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. A determinação da umidade do solo foi realizada na área experimental.

#### 2.2.5 Determinação das propriedades físicas

##### 2.2.5.1 Granulometria e densidade das partículas

As determinações das frações do solo (granulometria) e as densidades das partículas, em cada parcela, foram realizadas em amostras de solo com estrutura deformada. Para a determinação da granulometria, foi empregado o método da pipeta de acordo com Gee e Bauder (1986), e para a densidade das partículas o método do balão volumétrico (Blake e Hartge, 1986a).

##### 2.2.5.2 Densidade do solo

A densidade do solo foi obtida em amostras inderformadas pela razão entre a massa da amostra de solo seco a 105 °C e o volume do solo, como descrito por Blake e Hartger (1986b), nas duas profundidades das parcelas.

##### 2.2.5.3 Porosidade do solo

A porosidade total do solo ( $\alpha$ ) foi calculada a partir dos dados obtidos da densidade do solo ( $D_s$ ) e da densidade das partículas ( $D_p$ ) por meio da expressão (2):

$$\alpha = \left[ 1 - \left( \frac{D_s}{D_p} \right) \right] \cdot 100 \quad (2)$$

A microporosidade foi determinada em funil de Haines, mediante a aplicação de tensão de 6 kPa sobre as amostras saturadas, até que a água nos macroporos fosse drenada, segundo a metodologia de Danielson e Sutherland (1986). Em seguida, as amostras foram pesadas e secas em estufa a 105 °C até massa constante e, por diferença de massa de água, calculou-se o percentual de microporos. A macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

#### 2.2.5.4 Umidade do solo na parcela

Para a determinação da umidade do solo foram realizadas coletas de solo com o uso do trado de rosca nas camadas de 0-0,15 m e 0,15-0,30 m de profundidade. Esse procedimento foi realizado em todas as parcelas do experimento. As amostras de solo retiradas foram acondicionadas em lata de alumínio, com tampa vedada por fita adesiva e, logo a seguir, pesada e colocada em estufas a 105°C até peso constante. Esse procedimento foi realizado no próprio local de trabalho. A umidade gravimétrica foi calculada pela equação:

$$U = \frac{(M_u - M_s)}{M_s}, \text{ kg. Kg}^{-1} \quad (3)$$

onde:  $U$  = Umidade do solo à base de peso;  $M_u$  = Massa úmida da amostra do solo;  $M_s$  = Massa seca da amostra do solo

#### 2.2.6 Composição química do composto orgânico

O composto orgânico utilizado no experimento foi produzido na própria área trabalhada com o aproveitamento da serrapilheira (43%). Entre as espécies que contribuíram para a serrapilheira encontram-se o marmeleiro (*Cróton* sp.), a jurema branca (*Pithecolobium diversifolium* Benth), a jurema preta (*Mimosa nigra* Hub.), o mofumbo (*Cobretum leprosum* Mart), o juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) e o pau branco. Foram, ainda, adicionados o esterco de bovino (20%), a palha do milho (7%) e capim elefante (30%).

### 2.2.7 Preparo do solo e implantação da área experimental

Para o preparo do solo foram utilizados os três diferentes tipos de implementos agrícolas: O escarificador, utilizado no manejo do solo para o tratamento 2 (Figura 2.3); o subsolador e o sulcador, para os tratamentos “3” “4” e “5” (Figura 2.4). Para o tratamento 1, foi usada somente, a enxada para o plantio. Após o preparo do solo, foram realizadas as atividades complementares para o tratamento 3 (cobertura vegetal) e tratamento 4 (cobertura vegetal e composto orgânico).

Figura 2.3 – Escarificador



Fonte: O autor.

Figura 2.4 – Subsolador (a) e Sulcador (b)



(a)

Fonte: O autor.



(b)

### 2.2.8 Plantio

O plantio previsto para o início a partir do final de fevereiro, como o sugerido por Repelli e Alves (1996), no intuito de reduzir as probabilidades de ocorrência de longos períodos sem chuva (acima de vinte dias), não foi possível de ser viabilizado pela falta de umidade no solo. Esta, permaneceu, ainda, durante o mês de março e somente no início de abril (dia 9.04.2013) foi realizado o plantio da cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

A precipitação pluviométrica foi medida por um pluviômetro convencional modelo “VILLE DE PARIS”. A avaliação da evaporação na área do experimento foi realizada, utilizando-se um tanque classe “A”.

## 2.3 Resultados e discussão

### 2.3.1 Armazenamento da água no solo

O conteúdo de água armazenada no solo (Camadas de 0,0–0,15 e 0,15–0,30 m) para os manejos investigados (T-P; T-ESC; T-CS; T-CCM, e T-CCO) ao longo do ciclo da cultura pode ser visto nas Figuras 2.5 e 2.6. Ainda, pelas referidas figuras observa-se a distribuição das precipitações pluviométricas e os períodos das ocorrências dos veranicos até a última leitura (cinco veranicos). Tais informações levam ao entendimento do comportamento das variações no armazenamento da água nas camadas de solo estudadas.

Pressupondo que o conteúdo de água inicial do solo foi o mesmo para todos os tratamentos (período longo sem chuvas anteriormente à montagem do experimento) e que as precipitações foram uniformes na área experimental, as diferenças encontradas no conteúdo de água entre os tratamentos, logo na primeira leitura após o plantio (10/04/2013), estão relacionadas aos efeitos das práticas de preparo do solo de cada manejo adotado. A variação diferenciada do conteúdo de água no solo entre os tratamentos manteve-se até a última leitura de umidade do solo (06.06.2013).

A literatura tem mostrado que o preparo do solo altera as propriedades físicas e hídricas do solo (densidade, porosidade e infiltração), influenciando a sua capacidade de captar e armazenar a água da chuva no seu perfil (STONE; MOREIRA, 2000; TORMENA *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2005; BERTOL *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2006)

Em ambas as camadas estudadas, o T-CCM e T-CCO diferenciam-se dos demais tratamentos quanto ao conteúdo de água no solo. Na camada superficial (Figura 2.5) identifica-se maior sensibilidade do T-CCO em relação ao T-CCM aos eventos de precipitação ocorridos após o dia 13/05, uma vez que a declividade da linha representativa do T-CCO é inferior a do T-CCM. Tal fato expressa um maior conteúdo de água no solo e uma menor variabilidade do mesmo.

Acredita-se que essa variabilidade foi definida pelos seguintes fatores: padrão dos eventos pluviométricos (intensidades e veranicos); ação dos manejos investigados sobre a estrutura do solo e consequentes alterações na capacidade de captação e retenção da água; e o requerimento diferenciado de água pela cultura do feijão-de-corda durante o ciclo de cultivo (desenvolvimento do sistema radicular, área foliar e porte da planta, influenciados pelos manejos do solo).

Figura 2.5 – Variação do conteúdo da água no solo durante o ciclo da cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), submetida a diferentes técnicas de manejo e preparo do solo na camada de 0,00-0,15 m

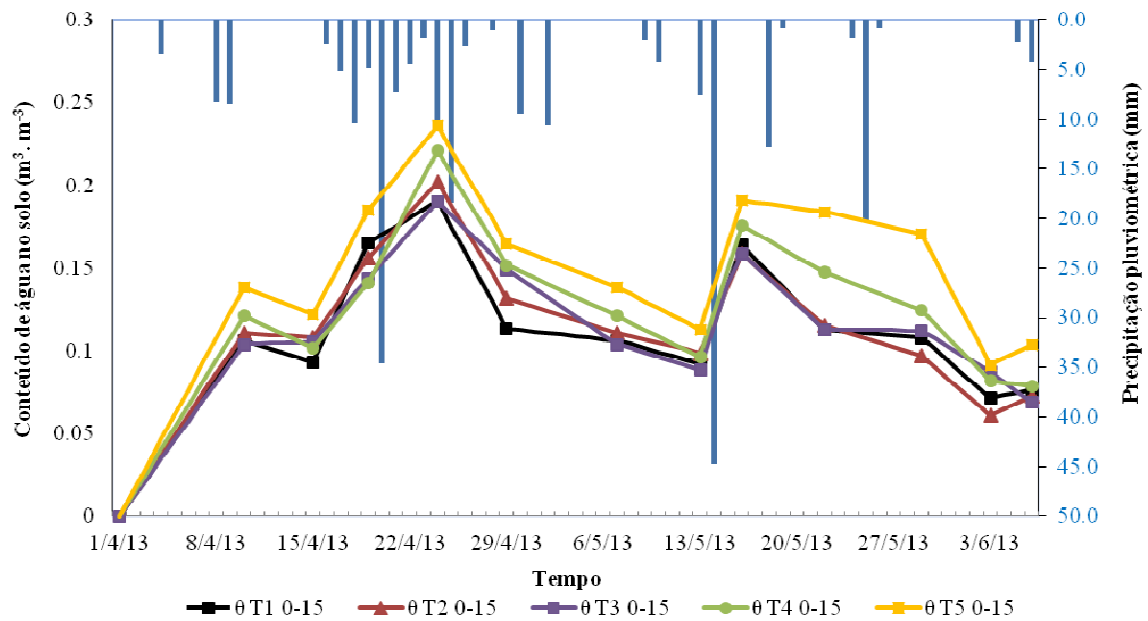
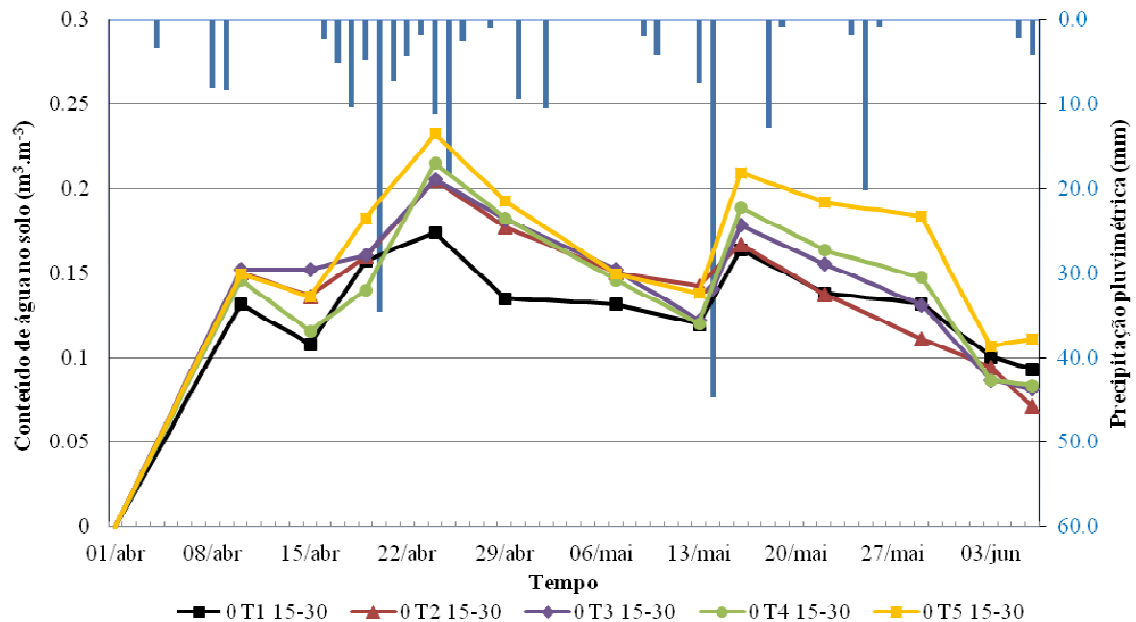
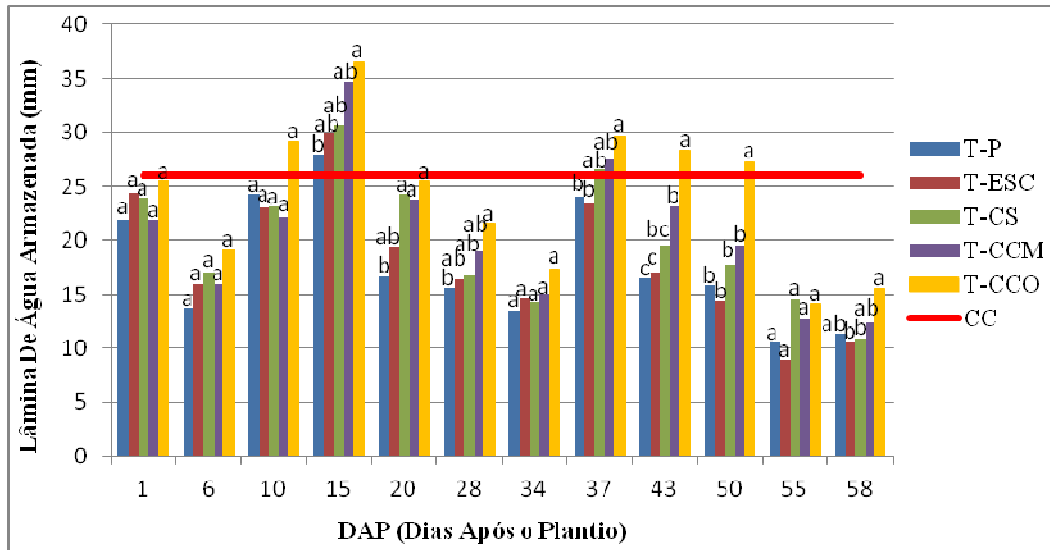


Figura 2.6 – Variação do conteúdo da água no solo durante o ciclo da cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), submetida a diferentes técnicas de manejo e preparo do solo na camada de 0,15-0,30 m



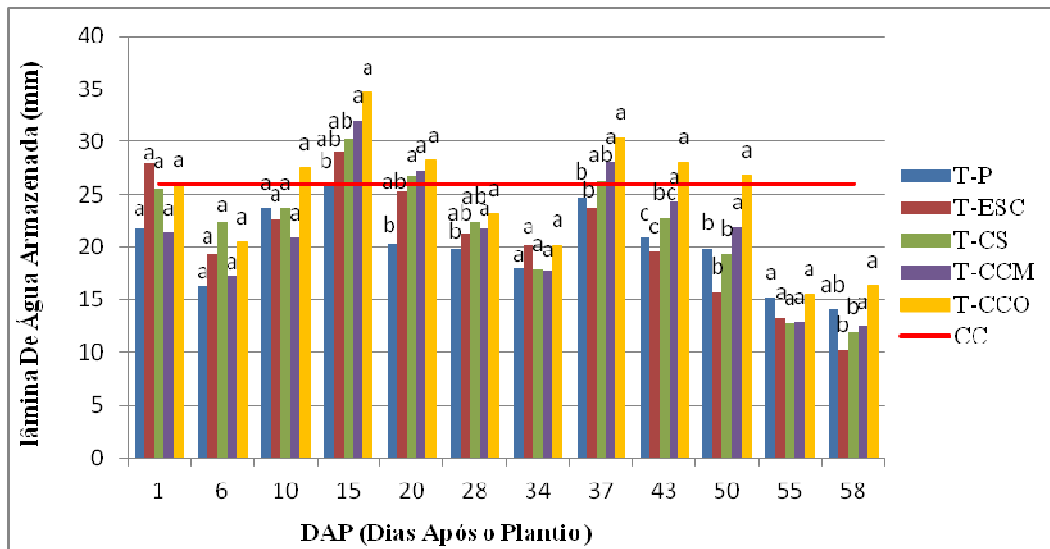
Analisando-se as variações do armazenamento de água nas camadas de solo estudadas (Figura 2.7 e 2.8) é possível identificar, de forma evidente, os efeitos das práticas de preparo do solo tanto na capacidade de captação da água de chuva, quanto na sua retenção.

Figura 2.7 – Variação da armazenagem da água no solo durante o ciclo do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), Camada 0,0-0,15 m



\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.  
Fonte: O autor.

Figura 2.8 – Variação da armazenagem da água no solo durante o ciclo do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), Camada 0,15-0,30 m



\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.  
Fonte: O autor.

Observando-se os suprimentos de água ao solo pelas precipitações pluviométricas no 1, 10, 15, e 37 DAP, verifica-se que, no 1 e 10 DAP não ocorreu diferença significativa (ao nível de 5%) no armazenamento de água entre os tratamentos, enquanto aos 15 e 37 DAP, o armazenamento de água entre os tratamentos mostraram-se com diferenças, estatisticamente, significativas (Figura 2.7 e 2.8).



Essas diferenças na maior capacidade em captar a água da chuva estão relacionadas às técnicas de preparo do solo nos diferentes manejos entre os tratamentos, bem como, ao padrão das chuvas (intensidade, duração e momento em que ocorre a máxima intensidade) nas áreas semiáridas. Pesquisadores, como Silva *et al.* (2001) e Bertol (2007) comentam que a intensidade das chuvas e os veranicos que ocorrem nas áreas semiáridas do Brasil influenciam o processo de infiltração, alterando a capacidade de armazenagem da água no solo.

No primeiro período (1 ao 10 DAP) ocorreram quatro dias de chuvas, totalizando 22,8 mm, sendo a maior de 10,4 mm (Figura 2.5) em mais de três horas (baixa intensidade). O comportamento da infiltração da água no solo foi mais uniforme, sem diferença significativa no armazenamento hídrico entre os tratamentos.

No segundo período (11 ao 15 DAP), ocorreram cinco dias de chuvas, totalizando 59,4 mm, sendo a maior de 34,6 mm (Figura 2.5) em, aproximadamente, duas horas (maior intensidade). Isso favorece uma infiltração diferenciada entre os tratamentos, permitindo que uma maior quantidade de água seja infiltrada em alguns e maiores escoamentos superficiais, em outros, influenciando na capacidade de armazenagem da água no solo (Figura 2.7).

Mchugh *et al.* (2007), na Etiópia, observaram que, tanto a armazenagem da água no solo, quanto a produção de grãos variaram com a intensidade da precipitação sazonal, a distribuição temporal das chuvas e a declividade do terreno. Já em estudos por Gicheru *et al.* (2004), no semiárido do Kenya, as diferenças no armazenamento de água geradas pelos efeitos das práticas de manejo do solo, apesar de serem influenciadas pelas precipitações pluviométricas, relacionaram-se mais com a infiltração e evaporação.

Acredita-se que os manejos investigados contribuem, também, para o aumento do armazenamento de água no solo, por resultarem em alterações nas condições físico-hídricas do solo, permitindo maior captação e armazenamento da água da chuva pelo solo. Essas diferenças na capacidade de captação da água da chuva entre os tratamentos permitiram, nessas leituras 15 e 37 DAP, mostrar uma diferença significativa entre o teor de água armazenado (Figuras 2.7 e 2.8).

O uso dos equipamentos (subsolador, escarificador e sulcador) nos tratamentos T-ESC, T-CS, T-CCM, e T-CCO pode ter contribuído para romper a camada adensada ou compactada, fato comum nos solos do semiárido nordestino (ANJOS *et al.*, 2007), reduzindo a densidade do solo, alterando a distribuição dos tamanhos dos poros e, conseqüentemente, maior taxa de infiltração instantânea e básica (CENTURION; DEMATTÊ, 1992; SECCO; REINERT, 1997; CALONEGO, 2007; SANTOS *et al.*, 2011).

Ainda, pelas Figuras 2.7 e 2.8, verifica-se que no 6, 34, e 55 DAP o armazenamento da água no solo não apresentou nenhuma diferença significativa entre os tratamentos. Esses resultados estão relacionados aos baixos níveis de água no solo, lâmina de água entre 10 e 17 mm entre os tratamentos (abaixo da capacidade de campo CC - Figura 2.7). Já as medidas realizadas aos 20, 28, 43; 50, e 58 DAP apresentaram diferenças significativas quanto ao armazenamento de água no solo (Figura 2.7). A capacidade de manter por mais tempo uma maior lâmina de água no solo entre os tratamentos está, também, relacionada às práticas de manejo do solo que minimizaram suas perdas de água durante os veranicos.

Ao longo de todo o ciclo da cultura, os tratamentos T-CCM e T-CCO não apresentaram diferenças estatísticas com relação à lâmina acumulada no solo, com exceção do período entre o 43 e 50 DAP. Uma vez que, nesse período, ocorreu um veranico de sete dias (Figura 2.5), o T-CCO é o de maior eficiência na capacidade de retenção da água no solo.

Dentre as práticas componentes desse sistema de manejo (T-CCO) a subsolagem e o sulcamento da técnica de captação *in situ* contribuíram para a captação da água da chuva, enquanto a cobertura morta e o composto orgânico mostraram-se complementares a estas práticas na retenção da água da chuva no solo.

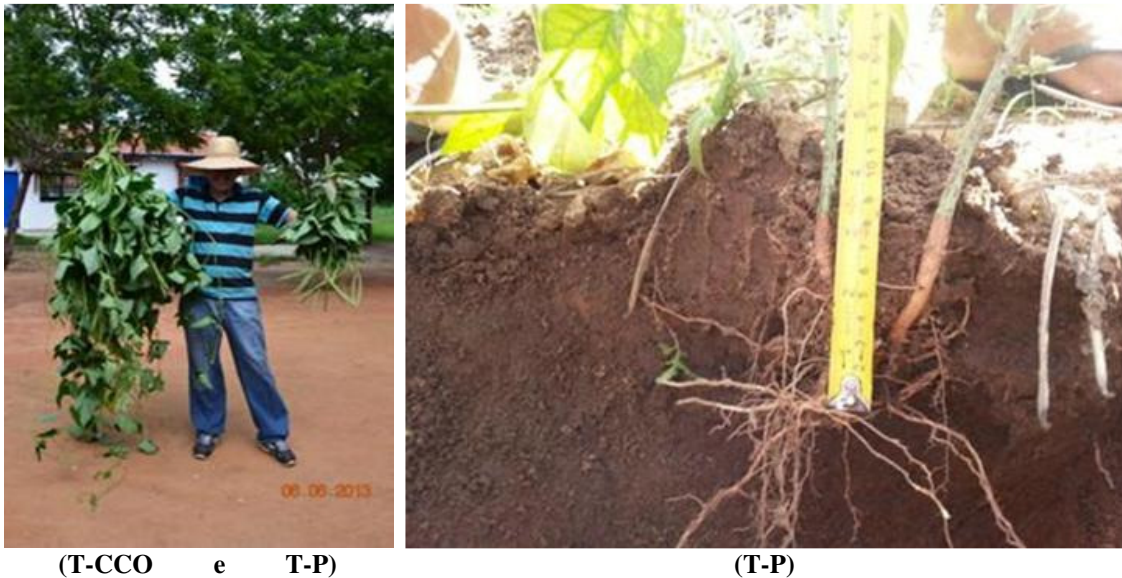
Esses fatos evidenciam que o armazenamento de água no solo varia em função da quantidade de água captada (que entra no perfil do solo) e da capacidade de retenção no solo, contribuindo para seu armazenamento no perfil por um maior período de tempo (CASTRO, 2001 apud GONZÁLEZ; ALVES, 2005).

Evidenciou-se no experimento a importância das fases dos veranicos pelos números de ocorrências nas reduções das lâminas de água no solo durante o ciclo do feijão-de-corda. Nas 12 leituras efetivadas em oito delas são verificadas essas reduções (6, 20, 28, 34, 43, 50, 55, e 58 DAP- Figuras 2.7 e 2.8). Diante disso, práticas como a cobertura morta e a incorporação do composto orgânico mostraram o diferencial com resultados significativos na eficiência de retenção da água no solo (T-CCO e T-CCM Figura 2.7).

Para Albuquerque *et al.* (2002), Oliveira *et al.* (2004), Bescansa *et al.* (2006) e Llanillo *et al.* (2006), o uso da matéria orgânica melhora a estrutura do solo, proporcionando maior capacidade de absorção e armazenamento da água no solo. Isto pode ser melhor observado pelas diferenças no armazenamento da água no solo, sempre superior no T-CCO em relação aos demais tratamentos (Figuras 2.7 e 2.8). Essas práticas exercem maior influência na primeira camada pela forma de sua incorporação ao solo, sendo, portanto, passível de potencializar um efeito sinérgico, agregando, também, efeitos positivos a outras práticas agrícolas, melhorando a eficiência na armazenagem de água ao solo.

Decréscimos diferenciados nas reduções da armazenagem da água no solo entre os tratamentos foram observadas, principalmente, durante os períodos de estiagem (6, 28, 34, 55, e 58 DAP - Figuras 2.7 e 2.8). Atribuiu-se esses decréscimos aos resultados do requerimento de água, diferenciado pelo desenvolvimento das plantas nos diferentes tratamentos (Figura 2.9).

Figura 2.9 – Desenvolvimento do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) – T-CCO e T-P e Sistema radicular do T-P



(T-CCO e T-P)  
Fonte: O autor.

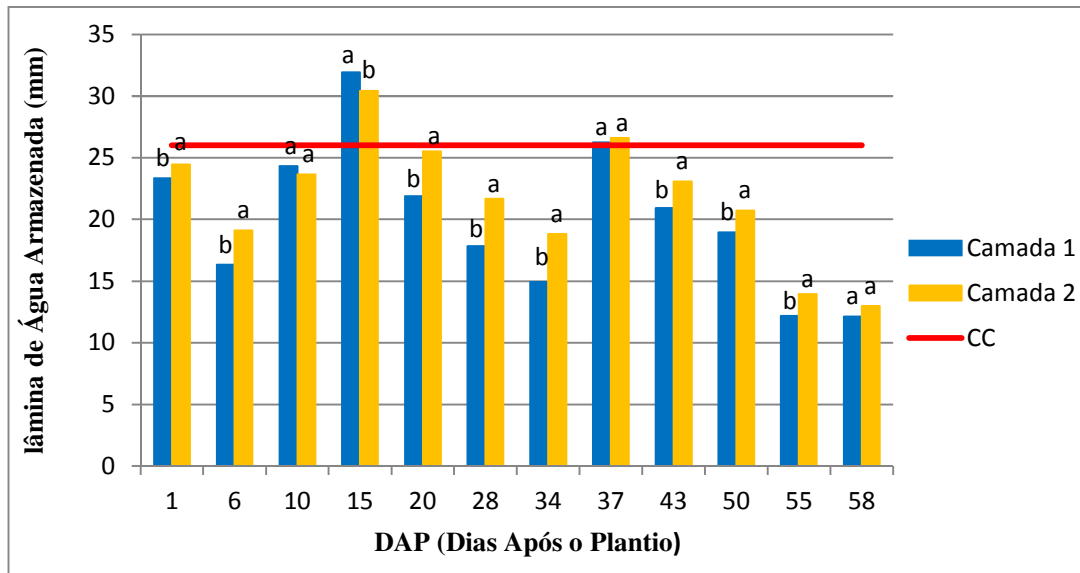
A redução diferenciada no armazenamento da água no solo entre o 50 e 55 DAP (Figura 2.7) pode estar relacionada com o porte da cultura em cada tratamento: plantas menos desenvolvida, menor consumo de água e plantas mais desenvolvidas, maior consumo de água.

Constatou-se, também, diferenças significativas entre sistemas de manejo (lâmina de água) nas duas camadas estudadas. Isso ocorreu na medida em que, também, aumentou o teor de argila no solo, demonstrando uma relação entre o conteúdo de água no solo e o teor de argila (Tabela 2.1). Entretanto aos 10, 37, e 58 DAP essas diferenças não foram significativas como o apresentado em todas as outras leituras (Figura 2.10).

O mesmo conteúdo de água nas duas camadas aos 10 e 37 DAP deve-se à proximidade da capacidade de campo pelas precipitações que ocorreram nos dias anteriores (Figura 2.5). Aos 58 DAP depois de dez dias sem chuva, a lâmina de água foi reduzida em todos os tratamentos, chegando a níveis muito próximos entre as camadas.

Somente no 15 DAP, a umidade na primeira camada (0,0-0,15m) foi superior à segunda (0,15-0,30m). Essa superioridade pode ser atribuída à precipitação pluviométrica do dia anterior em que toda água captada não tinha sido redistribuída pelo perfil do solo.

Figura 2.10 – Variação do armazenamento da água no solo durante o ciclo do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) entre as camadas de 0,0-0,15 e 0,15-0,30 m



\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Fonte: O autor.

A maior capacidade de armazenamento de água na camada inferior (0,15-0,30 m) está relacionada à composição granulométrica das camadas de solo (Tabela 2.1). Observa-se redução na quantidade de areia ( $814 \text{ g kg}^{-1}$  para  $674 \text{ g kg}^{-1}$ ) e aumento significativo da fração argila ( $61 \text{ g kg}^{-1}$  para  $179 \text{ g kg}^{-1}$ ) característico da presença de gradientes texturais expressivos nos argissolos e com um ligeiro incremento da fração do silte ( $125 \text{ g kg}^{-1}$  para  $147 \text{ g kg}^{-1}$ ). Este incremento da argila pode relacionar-se com parte da fração argila que se deslocou das camadas superficiais para as mais profundas, através do processo de eluviação/iluviação (SILVA *et al.*, 2001; BRANDÃO *et al.*, 2007).

A maior capacidade de armazenagem da água no solo, principalmente durante a incidência dos veranicos pelo T-CCO e T-CCM, é resultante dos efeitos das práticas agrícolas nos manejos do solo. A interação de práticas destinadas a melhorias na captação da água da chuva e práticas de retenção de água durante as estiagens (veranicos) mostraram-se eficientes na manutenção da umidade do solo por um maior período de tempo, condição esta necessária à redução dos riscos de perda de safra, pela imposição do clima a que, costumeiramente, a agricultura de sequeiro é submetida no semiárido nordestino.

## 2.4 Conclusão

1. As práticas de preparo e manejo do solo proporcionaram diferenças no armazenamento de água no solo. O manejo (subsolagem + captação *in situ* + cobertura do solo+ composto orgânico) em todo o ciclo do cultivo do feijão-de-corda foi o tratamento de maior capacidade de armazenar água, principalmente, na ocorrência dos veranicos.
2. Durante o ciclo da cultura do feijão o conteúdo de água no solo variou entre os tratamentos pela influência da intensidade das precipitações pluviométricas, das práticas de preparo e manejo do solo, e do desenvolvimento das culturas.
3. A variabilidade dos eventos pluviométricos (intensidades das precipitações pluviométricas e veranicos), os efeitos das práticas de preparo e manejo sobre a estrutura do solo e o requerimento diferenciado de água pela cultura do feijão-de-corda durante o ciclo de cultivo, influenciaram na variação do conteúdo de água entre os tratamentos. (OPÇÃO 2 OU 3)
4. Os resultados obtidos demonstraram a eficiência dos efeitos do preparo e manejo do solo na captação e manutenção do conteúdo da água do solo por um maior período de tempo enfatizando sua contribuição na redução dos riscos de perda de safra pela imposição do clima.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. W. *et al.* Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 136-141, 2002.
- ANJOS, J. B. *et al.* Métodos de captação de água de chuva “in situ”. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTACAO DE AGUA DE CHUVA, 9., 1999, Petrolina, PE. **Anais...** Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido/Singapura/IRCSA, 1999. 16p.
- ANJOS, J. B. *et al.* Captação “in situ”: água de chuva para produção de alimentos. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. cap. 7, p. 141-155.
- ANTONINO, A. C. D. *et al.* Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semiárido do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 29-34, 2000.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Caatinga: agroecologia *versus* desertificação. **Ciência Hoje**, v. 30, n. 180, p. 44-45, 2002.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; BARBOSA, T. M. L. **Sistemas agrícolas sustentáveis para regiões semi-áridas**. Sobral: Embrapa Caprinos 1999. 18p. (Embrapa Caprinos. Circular Técnica, 20).
- BERTOL, I. *et al.* Parâmetros relacionados com a erosão hídrica sob taxa constante da enxurrada, em diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 715-722, 2006.
- BERTOL, O. J. *et al.* Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 781-792, 2007.
- BESCANSÀ, P. *et al.* Soil water retention as affected by tillage and residue management in semi-arid Spain. Pamplona, Spain. **Soil & Tillage Research**, v. 87, n. 1, p.19-27, 2006.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986a. pt. 1, p.363-375. (Agronomy Monography, 9).
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986b. pt. 1, p.377-382. (Agronomy Monography, 9).
- BRANDÃO, V. S. *et al.* **Infiltração da água no solo**. Viçosa – MG: ed. UFV, 2006.120 p.

- BRANDÃO, V. S. *et al.* Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 129-138, 2007.
- CALONEGO, J. C. **Uso de plantas de cobertura na recuperação de solo compactado. Botucatu**. 2007. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.
- CASTRO, M. M.T. Morfología de superficies cultivadas. en relación con la infiltración, la formación del excedente de agua y la erosión., 2001. 541p. **Tesis Doctoral**. La Coruña: UDC, 2001.
- CAYCI, G. *et al.* Crop yield and water use efficiency in semi-arid region of turkey. Ankara-Turkey. **Soil & Tillage Research**, v. 103, n. 1, p. 65-72, 2009.
- CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Sistemas de preparo de solos de cerrado: efeitos nas propriedades físicas e na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 315-324, 1992.
- DALMAGO, G. A. **Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional**. 2004. 245f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- DALMAGO, G. A. *et al.* Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, Suplemento 0, p.855–864, 2009.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. *In*: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt. 1, p.443-461. (Agronomy Monography, 9).
- DUQUE, J. G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. 2. ed. Banco do Nordeste do Brasil S.A., 1973, 238p.
- GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. *In*: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt. 1, p.383-411. (Agronomy Monography, 9).
- GICHERU, P. *et al.* Effects of soil management practices and tillage systems on surface soil water conservation and crust formation on a sandy loam in semi-arid Kenya. **Soil & Tillage Research**, v. 75, n. 2, p. 173-184, 2004.
- HILLEL, D. **Solo e Água: Fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre- RS. Traduzido pelo convênio UFRGFS-USAID/Wisconsin. Publicado pelo Departamento de Solos- UFRG, 231 p. 1970.
- LLANILLO, R. F. *et al.* Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.

McHUGH, O. V. *et al.* Performance of in situ rainwater conservation tillage techniques on dry spell mitigation and erosion control in the drought-prone North Wello zone of the Ethiopian highlands. **Soil & Tillage Research**, v. 97, n. 1, p. 19-36, 2007.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 17 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 89).

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a red latosol from Brasil. **Soil Tillage & Research**, v. 77, n. 1, p.79-84, 2004.

REICHERT, J.M. *et al.* Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular do feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.3, p. 310-319, 2009.

REPELLI, C. A.; ALVES, J. M. B. Variabilidade interanual da estação chuvosa no estado do Ceará e a probabilidade de ocorrência de veranicos. Ceará - Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 3, p. 107-118,, 1996.

SAHRAWAT, K. L. *et al.* Managing natural resources of watersheds in the semi-arid tropics for improved soil and water quality: A review. **Agricultural Water Management** v. 97, n. 3, p. 375-381, 2010.

SANTOS, M. S.; ALONÇO, A. S.; BAUHARDT, U. B. Principais fatores que influenciam o desempenho de escarificadores e subsoladores. Uma revisão de literatura. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 5, n. 1, p. 13-19, 2011.

SCHAEFER, C. E. G. R. *et al.* Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 669-678, 2002.

SECCO, D.; REINERT, D. J. Efeitos imediatos e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho escuro sob PD. **Engenharia Agrícola**, v. 16, n. 3, p. 52-61, 1997.

SILVA, M. S. L. da; GOMES, T. C. de A.; ANJOS, J. B. dos. **Solos adensados e/o compactados: identificação/diagnóstico e alternativas de manejo**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2001. 6p. (Embrapa Semiárido.Circular Técnica 76).

SILVA, M. A. S. *et al.* Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um argissolo vermelho sob distintos sistemas de uso do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 329-337, 2006.

SILVA, M. A. S. *et al.* Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35 n. 3, p.544-552, 2005.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos do sistema de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.



TORMENA, C. A. *et al.* Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.

VIRMANI, S. M., SIVAKUMAR, M. V. K., REDDY, S. J. Climatic classification of the semi-arid tropics in relation to farming systems research. *In*: **Consultants meeting on climatic classification**. ICRISAT, Andhra Pradesh, India. p. 27-44, 1980.

### **CAPÍTULO 3 - Efeito de manejos no solo no *déficit* hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido**

#### **RESUMO**

A variabilidade das precipitações pluviométricas no semiárido ocasionam, frequentemente, insuficiências hídricas durante o ciclo de cultivo do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) afetando o seu rendimento. Objetivou-se com este trabalho avaliar o rendimento do feijão-de-corda em regime de sequeiro, submetido a diferentes manejos do solo durante o seu ciclo de produção. Foram, ainda, avaliadas as alterações nas trocas gasosas das plantas em dois distintos momentos: na capacidade de campo (37 DAP); e após um veranico igual ou superior a dez dias sem chuva (58 DAP). Os tratamentos foram constituídos por cinco sistemas diferenciados de práticas de preparo e manejo do solo: T-P, solo mobilizado somente pela enxada no plantio; T-ESC, solo escarificado a 0,30m; T-CS, solo com subsolagem e aplicação da técnica de captação *in situ*; o T-CCM e T-CCO são as mesmas práticas do anterior adicionada a cobertura morta para o T-CCM e a cobertura morta e compostagem para o T-CCO. Os resultados mostraram que a interação das práticas da cobertura morta e compostagem à subsolagem, juntamente ao uso da técnica de captação *in situ*, dotaram o T-CCO de maior capacidade de captar e reter a água disponível para as plantas por um maior período de tempo, aumentando o rendimento em relação aos demais tratamentos na ordem crescente (do primeiro ao quarto) de 41%; 28%; 47% e 12%. As respostas das plantas aos efeitos dos manejos do solo após 10 dias sem chuvas evidenciaram que o T-CCO, apresentou os melhores resultados na manutenção do estado fisiológico das plantas. As práticas de preparo e manejo do solo, não mostraram diferenças significativas na condutância estomática, taxa fotossintética, taxa de transpiração e na temperatura foliar entre os tratamentos, quando a umidade se encontrava próxima da capacidade de campo. Pequenos volumes de precipitações pluviométricas (2,2 e 4,2 mm) foram capazes de manter e aumentar a taxa de transpiração e a taxa fotossintética.

**Palavras-chave:** Manejo do solo. Plantio de sequeiro. *Déficit* Hídrico. Trocas Gasosas

### **CHAPTER 3 - Effect of soil management on water deficit, gas exchange and yield of the cowpea in the semi-arid region**

#### **ABSTRACT**

The variability of the rainfall in semiarid regions often causes water shortages during the crop cycle of the cowpea (*Vigna unguiculata* ( L. ) Walp.) affecting its yield. The aim of this work is to evaluate the performance of the cowpea under rainfed conditions, when subjected to different soil managements during its production cycle. Changes in the gas exchange of the plants were also evaluated at two different periods: field capacity (37 DAE) and after a dry spell of ten or more days without rain (58 DAE). The treatments consisted of five different systems of soil preparation and management: T-P, soil turned only by hoe at planting; T-ESC, soil scarified to 0.30m; T-CS, soil with subsoiling and the use of *in situ* catchment; T-CCM and T-CCO, similar to the previous system, with the addition of mulch for T-CCM and of mulch and compost for T-CCO. The results showed that the interaction of mulching and composting with subsoiling, together with *in situ* catchment, resulted in T-CCO having a greater capacity for collecting and holding the water available to the plants for a longer period of time, increasing yield when compared to the other treatments, in ascending order (first to fourth) by 41%, 28%, 47% and 12%. Plant response to the effects of soil management after 10 days without rainfall showed that T-CCO also produced the best results in maintaining the physiological state of the plants. The practices of soil preparation and management showed no significant differences for stomatal conductance, rate of photosynthesis, rate of transpiration or leaf temperature between the treatments, when moisture was near field capacity. Small volumes of rainfall (2.2 and 4.2 mm) were able to maintain and increase the rates of transpiration and photosynthesis.

**Keywords:** Soil Management. Rainfed Crops. Water Deficit. Gas Exchange.

### 3.1 Introdução

A exploração agrícola no semiárido do Nordeste é constituída, predominantemente, por uma agricultura de subsistência. O feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) destaca-se por ser o alimento básico da população rural, ocupando grande parte das áreas cultivadas pelos pequenos produtores, o que torna esta cultura importante, nas áreas econômica e social, às comunidades rurais (EMBRAPA, 1982; BEZERRA *et al.*, 2003 ).

Cultivada sob o regime de sequeiro, onde a irregularidade das precipitações pluviométricas contribui para o *déficit* hídrico, esta cultura se constitui em uma atividade de alto risco, por estar submetida à dependência das chuvas (ANTONINO *et al.*, 2000).

Os sistemas de produção tradicionais têm no preparo do solo uma de suas vulnerabilidades, pois esses ainda não estão adequados à realidade do clima semiárido. Nestes sistemas, a semeadura é realizada em covas com a remoção (pela enxada) de uma pequena porção de terra, limitando a infiltração e a armazenagem da água no solo (ANJOS *et al.*, 2007; BRITO *et al.*, 2008).

Solo com tais sistemas de preparo aumentam as ocorrências do *déficit* hídrico mesmo em anos considerados pluviometricamente normais. O decréscimo na disponibilidade hídrica do solo afeta o crescimento, o desenvolvimento e, principalmente, o rendimento das culturas exploradas (NASCIMENTO *et al.*, 2004; FANCELLI; DOURADO NETO, 2005; KERBAURY, 2009).

A redução da disponibilidade hídrica no solo como consequência dos períodos de veranicos, reduz a condutância estomática com implicações diretas na transpiração da planta, fotossíntese e temperatura das folhas, causando prejuízos e, muitas vezes, o colapso na produção agrícola em caso de secas severas (MENDES *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2009; PEIXOTO, 2011)

Sistemas de manejo do solo que tem como base o princípio da conservação do solo e da água com o uso de equipamentos e técnicas apropriadas, provocam mudanças nas propriedades físicas, alterando, principalmente, o armazenamento da água (BESCANSÁ *et al.*, 2006; MCHUGH *et al.*, 2007; DALMAGO *et al.*, 2009).

O uso dessas tecnologias introduzidas nos sistemas produtivos requer o conhecimento das alterações na armazenagem da água no solo a cada tipologia de manejo (GICHERU *et al.*, 2004; GONZÁLEZ *et al.*, 2005; BRANDÃO, 2005; SAHRAWAT *et al.*,

2010) e as respostas das plantas aos níveis de *déficit* hídrico e suas consequências no rendimento.

Embora existam muitos trabalhos mostrando a influência do *déficit* hídrico sobre a cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), pouco se sabe sobre os efeitos de sistemas de preparo e manejo do solo na captação e retenção da água e nas respostas dessa cultura sob a influência do ambiente do semiárido. Esse tipo de estudo permite entender o comportamento das variáveis fisiológicas da planta (condutância estomática, transpiração, fotossíntese e temperatura foliar) bem como as respostas no rendimento dos grãos, sendo de importância fundamental para o desenvolvimento de novos sistemas de manejo e da cultura na redução dos riscos de produção em adaptação à climatologia local (NASCIMENTO, 2009; FRANÇOIS, 2012).

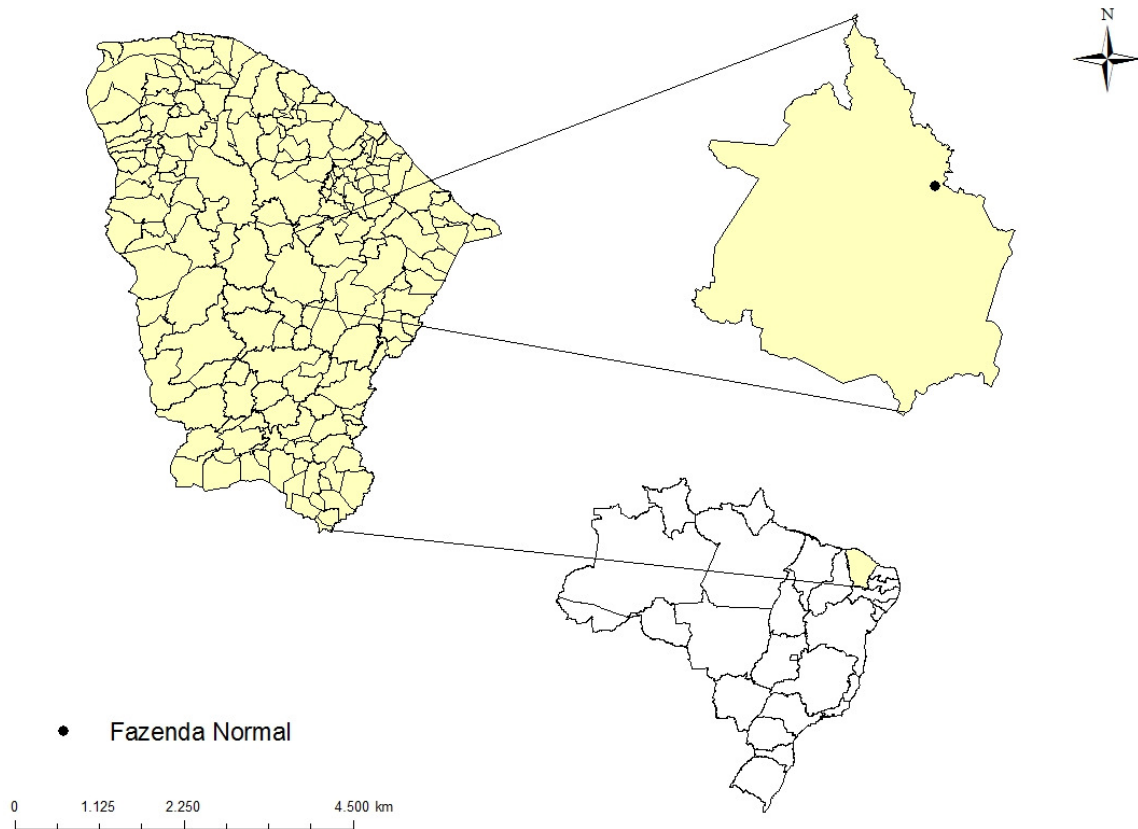
Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos do *déficit* hídrico na condutância, fotossíntese, transpiração, temperatura foliar e rendimento do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivado em diferentes técnicas de manejo do solo no semiárido.

## 3.2 Material e métodos

### 3.2.1 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi realizada na Fazenda Normal de propriedade da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (Ematerce), no município de Quixeramobim, situado na zona fisiográfica do Sertão Central (5° 12' 08" S, 39° 17' 11" W) a uma altitude média de 250 m, distando 210 km da capital do Estado (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Localização da área experimental



Fonte: O autor.

O clima do município é do tipo semiárido quente e seco BSh'w', conforme classificação de Köppen. A estação das chuvas tem duração de três a quatro meses (fevereiro a maio) e a estação seca, com oito meses de duração, sem chuvas, de junho a janeiro, sendo os meses de outubro a dezembro os mais secos e quentes.

Os maiores valores das temperaturas médias máximas diárias são registrados entre setembro e dezembro com valores entre 32-38 °C, coincidindo com o final da estação seca. Os registros das temperaturas médias mínimas diárias ocorrem entre junho e agosto, sendo a

mais baixa de 21,2 °C, em julho. A precipitação pluviométrica anual situa-se entre as isoietas de 500 a 750 mm. A evapotranspiração potencial é de 1.929 mm e a velocidade dos ventos é, em média, de 1,44 km h<sup>-1</sup>, com direção predominante nordeste.

A vegetação primitiva é oriunda de essência de floresta hiperxerófila e uma pequena parte da floresta caducifólia de várzea, cujas espécies mais representativas são: *Cróton* sp. (marmeleiro), *Pithecolobium diversifolium* Benth (Jurema branca), *Mimosa nigra* Hub. (Jurema preta), *Cobretum leprosum* Mart. (Mofumbo), *Ziziphus joazeiro* (Juazeiro), *Cereus jamacaru* DC, (Mandacaru), *Copernícia prunifera* (Carnaubeira), dentre outras.

O relevo da área, em sua grande extensão, é de plano a suave ondulado, ocorrendo de maneira espaçada maciços residuais de relevo fortemente ondulado a montanhoso, com um padrão de drenagem superficial do tipo treliça, formada por cursos d'água intermitentes.

O solo trabalhado pertence à classe dos Argissolos Vermelho eutrófico.

Tabela 3.1 – Atributos físicos nas camadas de (0–0,15) m e (0,15–0,30) m, do solo da área experimental da Fazenda Normal, em Quixeramobim, Ce, 2012

Atributos físicos	Profundidade (m)	
	0 – 0,15	0,15 – 0,30
Granulometria	-	-
Areia total (g kg <sup>-1</sup> )	814	674
Areia muito grossa (g kg <sup>-1</sup> )	91,24	68,75
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> )	179,00	137,09
Areia média (g kg <sup>-1</sup> )	169,00	148,15
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> )	255,35	208,80
Areia muito fina (g kg <sup>-1</sup> )	119,41	111,21
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	125	147
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	61	179
Classe textural	Franco Arenoso	Franco Arenoso
Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )	1,68	1,75
Densidade das partículas (kg dm <sup>-3</sup> )	2,59	2,54
Porosidade (%)	0,37	0,34

Fonte: O autor.

### 3.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi composto por cinco sistemas de manejo do solo (tratamentos citados adiante). O delineamento experimental adotado para o estudo da umidade do solo foi o inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, com cinco sistemas de manejo, em duas

camadas de solo (0,15 e 0,30 m) e com quatro repetições, perfazendo um total de 40 unidades experimentais. As unidades experimentais foram espaçadas entre si, por 1 m.

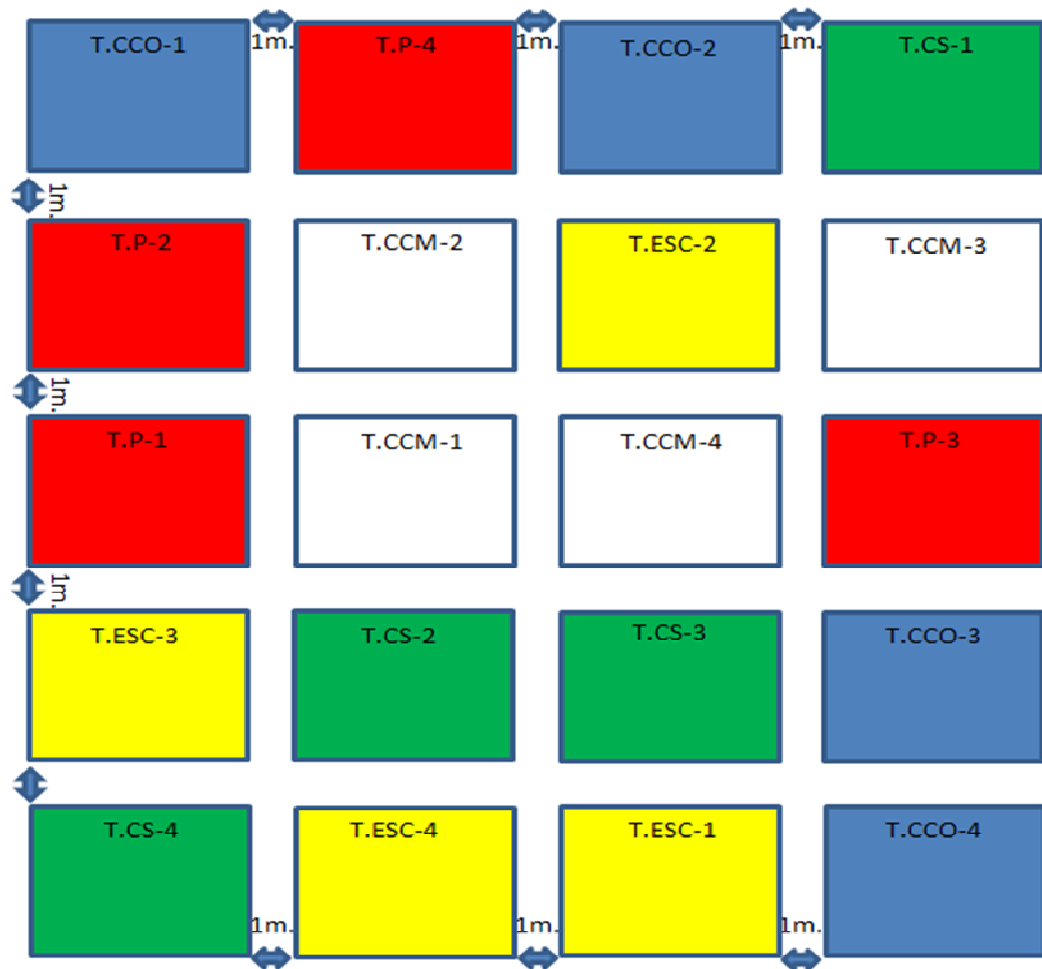
O tamanho das parcelas foi de 5 x 7 m com área útil de 15 m<sup>2</sup>. A área total do experimento foi de 2.250 m<sup>2</sup>. A cultura instalada foi o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivo do “Setentão”, sendo a semeadura realizada, manualmente, em todos os tratamentos.

Os tratamentos representam cinco sistemas de produção decorrentes de diferentes sistemas de preparo do solo (Figura 3.2):

- Tratamento 1 (T-P) - Sistema de produção com preparo do solo, usualmente, utilizado pelos pequenos produtores familiares com menos de 2 ha, cuja técnica consta, somente, do uso da enxada como equipamento de preparo do solo. O plantio foi realizado em solo totalmente nu.
- Tratamento 2 (T-ESC) - Sistema de produção com o preparo do solo realizado por escarificação mecânica, composta de sete escarificadores com hastes rígidas, acopladas na barra com porta ferramentas, a uma profundidade de 0,25-0,30 m e espaçamento de 0,25 m.
- Tratamento 3 (T-CS) - Sistema de produção com o preparo do solo realizado com uma subsolagem, a uma profundidade de 0,30 m, e espaçadas de 0,60 m, realizada por quatro subsoladores de levante hidráulico no sistema de três pontos, acoplados a uma barra porta ferramentas e, posteriormente, com o uso de sulcadores na mesma profundidade (0,30 m), realizados os sulcos como o recomendado pela técnica de captação *in situ*.
- Tratamento 4 (T-CCM) - Aplicou-se o mesmo manejo do tratamento 3, adicionando-se, uma cobertura morta com os restos da vegetação da área do experimento e de suas vizinhanças.
- Tratamento 5 (T-CCO) - Este tratamento foi implementado da mesma forma que os tratamentos 3 e 4, com a incorporação do composto orgânico (20 ton/ha) produzido com restos de vegetais e esterco, oriundos do próprio local e, logo após, adicionada à cobertura morta.



Figura 3.2 – Croqui das parcelas e tratamentos da área experimental, Quixeramobim, Ce



Legenda: T.P- Tratamento 1      T.ESC- Tratamento 2      T.CS – tratamento 3;  
 T.CCM Tratamento 4      T.CCO – Tratamento 5.

Fonte: O autor.

### 3.2.3 Determinação dos atributos físicos do solo

Foi aberta uma trincheira para análise inicial das condições atuais do solo com o objetivo de se fazer sua classificação, possibilitando identificar horizontes adensados ou compactados, a servir de base comparativa na verificação de possíveis ocorrências de modificações pedológicas, que possam ter sido impostas pelos diferentes manejos empregados.

### 3.2.4 Umidade do solo na parcela

Para a determinação da umidade do solo foram realizadas coletas de solo com o uso do trado de rosca nas camadas de 0-0,15 m e 0,15-0,30 m. As análises foram realizadas

durante três meses sendo: abril, nos dias 10, 15, 19, 24, e 29; maio, nos dias 7, 13, 16, 22, e 29; e em junho, nos dias 3 e 6. Estas datas corresponderam ao 1; 6; 10; 15; 20; 28; 34; 37; 43; 50; 55 e 58 DAP (dias após o plantio). As amostras de solo retiradas foram acondicionadas em lata de alumínio, com tampa vedada por fita adesiva e, logo a seguir, pesada e colocada em estufas a 105 °C, por 24 horas, e depois, novamente pesadas. Este procedimento foi realizado no próprio local de trabalho. A umidade gravimétrica foi calculada pela equação 3:

$$U = \frac{(M_u - M_s)}{M_s} \cdot 100 \quad (3)$$

onde:  $U$  = Umidade do solo à base de peso;  $M_u$  = Massa úmida da amostra do solo;  $M_s$  = Massa seca da amostra do solo.

### 3.2.5 Composição química do composto orgânico

O composto orgânico utilizado no experimento foi produzido na própria área trabalhada com o aproveitamento da serrapilheira (43%) que, normalmente, após as primeiras chuvas, é arrastada e depositada nas áreas mais baixas. Entre as espécies que contribuíram para a serrapilheira encontram-se o marmeleiro (*Cróton* sp.), a jurema branca (*Pithecolobium diversifolium* Benth), a jurema preta (*Mimosa nigra* Hub.), o mofumbo (*Cobretum leprosum* Mart), o juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) e o pau branco. Foram, ainda, adicionados o esterco de bovino (20%), a palha do milho (7%) e capim elefante (30%).

### 3.2.6 Preparo do solo e implantação da área experimental

Para o preparo do solo foram utilizados os três diferentes tipos de implementos agrícolas já discriminados anteriormente: o escarificador foi utilizado no manejo do solo para o T-ESC (Figura 3.3); o subsolador e o sulcador para o T-CS; T-CCM e T-CCO (Figura 3.4). Para o T-P foi usado, somente, a enxada para o plantio. Após o preparo do solo, foram realizadas as atividades complementares para o T-CCM (cobertura vegetal) e T-CCO (cobertura vegetal e composto orgânico).

Figura 3.3 – Escarificador



Fonte: O autor.

Figura 3.4 – Subsolador (a) e Sulcador (b)



(a)



(b)

Fonte: O autor.

### 3.2.7 Plantio

O plantio previsto para o início, a partir do final de fevereiro, como o sugerido por Repelli e Alves (1996) no intuito de reduzir as probabilidades de ocorrência de longos períodos sem chuva (acima de vinte dias), não foi possível sua viabilização pela falta de umidade no solo. Esta falta de umidade permaneceu ainda durante o mês de março e, somente, no início de abril (dia 9.04.2013) foi possível o plantio da cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). A precipitação pluviométrica foi medida com um pluviômetro convencional modelo ville de paris.

### 3.2.8 Medições das trocas gasosas

Para verificar o grau de estresse imposto às culturas, foram realizadas medições de taxas de fotossíntese, transpiração e condutância estomática, em folhas completamente maduras utilizando-se um IRGA modelo LI 6400 (Licor, USA). As medições foram realizadas entre 7h30min e 8h30min e entre 12h e 13h, utilizando-se de uma fonte artificial de radiação de  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e sob condições naturais de temperatura e concentração de  $\text{CO}_2$  do ar (Figura 3.5).

As avaliações das trocas gasosas das plantas foram realizadas em dois momentos distintos. O primeiro, quando a umidade do solo se encontrava nas proximidades da capacidade de campo, no 37 DAP (dia após o plantio), e o segundo logo após um veranico de dez dias, no 58 DAP (dia após o plantio).

Figura 3.5 - Ilustração das medições das trocas gasosas foliares utilizando-se um IRGA modelo LI 6400



Fonte: O autor.

### 3.2.9 Produção de matéria seca, rendimento e índice de colheita

Ao final do ciclo das culturas foram feitas coletas de seis plantas, dentro de cada parcela, para determinação da produção de matéria seca de folhas, hastes e vagens. Também, foram colhidas através de uma área útil de  $15 \text{ m}^2$  todas as vagens de todas as parcelas para avaliação do rendimento do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Com os dados de

produção de massa seca e de produtividade calculou-se o índice de colheita (IC), o qual demonstra a relação entre a produção útil (grãos) e a produção de biomassa total.

### 3.2.10 Análise estatística

Os resultados apresentados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey com  $p < 0,05$ , utilizando-se o programa ASSISTAT 7.6 Beta.

### 3.3 Resultados e discussão

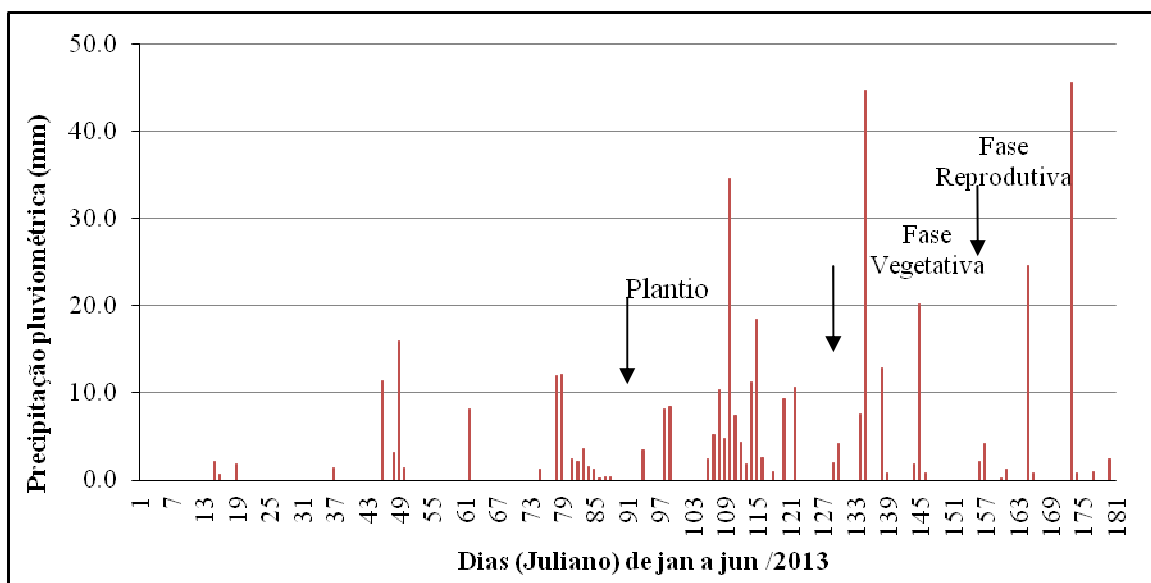
#### 3.3.1 Variações na umidade do solo: a variabilidade das precipitações pluviométricas e os veranicos

Pela Figura 3.6 é visto a distribuição das chuvas ocorridas na área experimental, no período de janeiro a junho de 2013. Em se tratando da agricultura de sequeiro, as precipitações pluviométricas são as responsáveis pelo suprimento de água para atender as necessidades hídricas da cultura durante todo o seu ciclo.

O conhecimento da distribuição e quantidade de água precipitada armazenada e disponibilidade para as plantas, durante seu desenvolvimento, é fundamental para a avaliação de suas respostas ao *déficit* hídrico que, porventura, venha a ocorrer no período do seu ciclo de produção em função de cada manejo trabalhado.

A quantidade de água precipitada na área experimental a partir do plantio do feijão (09/04/2013) até sua colheita (70 dias após) representou o total de uma lâmina de água de 310,6 mm. Nesse período (70 dias), foram contabilizados cinco veranicos: dois, com seis dias sem chuva na fase vegetativa (1 e 24 DAP); e três, na fase reprodutiva, sendo um desses três de seis dias, com início no 40 DAP; um de 10 dias no 47 DAP, e outro de sete dias no 59 DAP (Figura 3.6).

Figura 3.6- Distribuição das chuvas na área experimental (Janeiro – Junho)

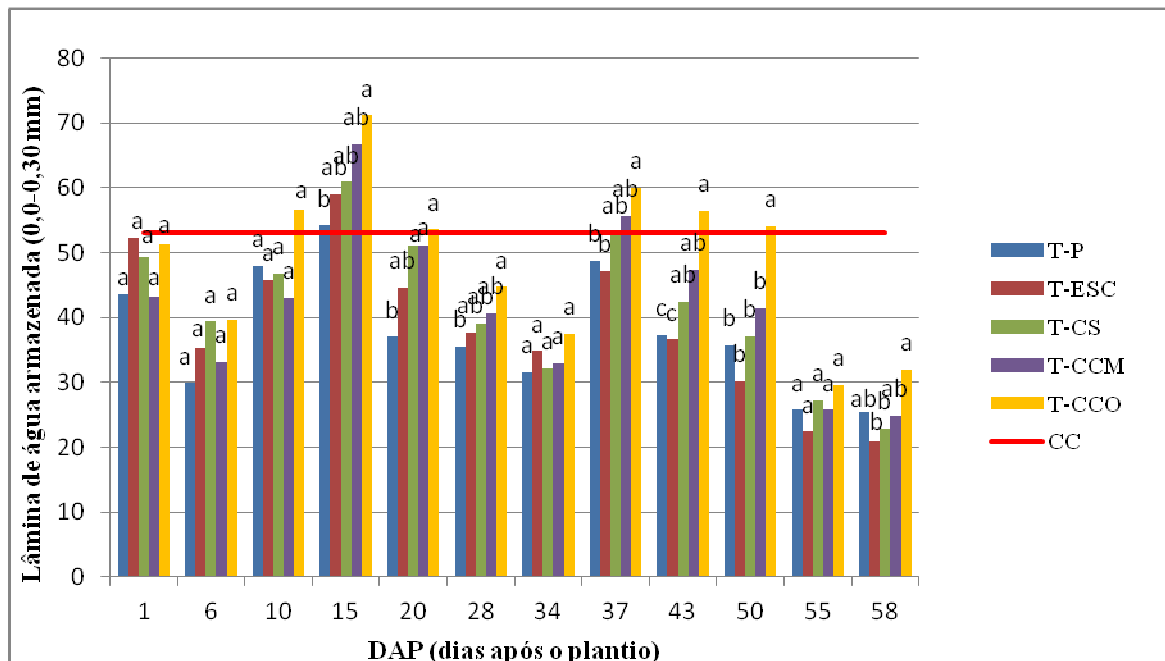


Fonte: O autor.

Veranicos, dependendo do número de dias e do manejo do solo, podem provocar redução da umidade do solo, induzindo a um *déficit* hídrico na planta. A planta, quando submetida a *déficits* hídricos, reduz o seu crescimento celular e a fotossíntese com consequências no desenvolvimento e produtividade (KERBAURY, 2009; FRANÇOIS, 2012).

Na Figura 3.7 observa-se a variação da armazenagem da água no solo, na camada de 0,00-0,30 m, juntamente ao resultado das análises das médias das lâminas de água armazenada pelo teste de Tukey entre os tratamentos decorrentes das precipitações pluviométricas durante todo o ciclo da cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

Figura 3.7 – Variação da armazenagem da água no solo durante o ciclo do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), camada 0,0-0,30 m



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Fonte: O autor.

Foram observadas variações no armazenamento da água no solo entre os tratamentos decorrentes dos efeitos da distribuição temporal das precipitações pluviométricas (intensidade e veranicos), como, também, pelo consumo de água diferenciado pelo desenvolvimento fisiológico em função do *déficit* hídrico e resistência mecânica do solo como resposta da cultura a cada tratamento em todas as fases do seu desenvolvimento.

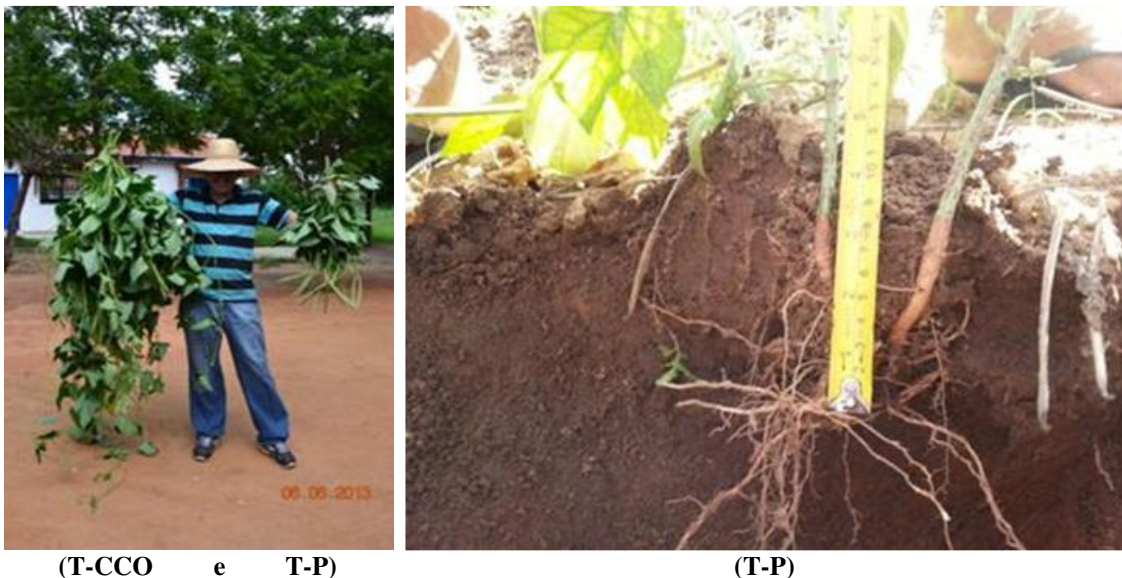
Diferenças não significativas no armazenamento da água no solo são verificadas em leituras após a ocorrência de precipitações pluviométricas (pequenas intensidades),

indicando que, naquele momento, o solo encontrava-se na capacidade de campo (1 e 10 DAP - Figura 3.7). Da mesma forma, verifica-se o mesmo resultado (diferenças não significativas no armazenamento da água) após a ocorrência de veranicos (6; 34 e 55 DAP – Figura 3.7). Esses resultados podem ser explicados pelos baixos conteúdos de água no solo em todos os tratamentos, reduzidas as diferenças nas quantidades de água armazenadas no solo.

Por outro lado, quando ocorrem precipitações pluviométricas mais intensas, as práticas de manejo do solo influenciam na captação de água, contribuindo para um aumento diferenciado entre os tratamentos (15 e 37 DAP – Figura 3.7) mesmo que estes fiquem nas proximidades da capacidade de campo. O mesmo foi observado pós-veranicos, em que as práticas que permitem maior capacidade de retenção da água se sobressaíam, permitindo prolongar a disponibilidade de água por um maior período de tempo (20; 28; 43; 50; 55 e 58 DAP).

Reduções na armazenagem da água no solo foram, também, observadas durante os períodos de veranicos (Figura 3.7). Essas reduções foram atribuídas ao resultado do consumo de água pelo desenvolvimento diferenciado das plantas (entre os tratamentos), influenciado pela redução de seu sistema radicular e/ou área foliar durante os períodos de estiagem em defesa natural da planta na manutenção de sua turgescência (Figura 3.8).

Figura 3.8 – Desenvolvimento do feijão- T-CCO x T-P e Sistema radicular do T-P



Fonte: O autor.

A redução da área foliar minimiza a transpiração, mantendo o consumo de água limitado pela planta por um período mais prolongado. Para Cordeiro *et al.* (2009), a redução da área foliar é a primeira demonstração de defesa da planta em função do *déficit* hídrico. Pela



Figura 3.8 é observada a diferença no tamanho das plantas do T-P em relação ao T-CCO (maior diferença entre plantas no experimento). Verifica-se uma diferença não só no porte das plantas, mas, também, no tamanho da área foliar das folhas e no desenvolvimento do sistema radicular. Reis *et. al.* (1998) citam que a expansão foliar e o alongamento das raízes são dependentes da turgidez das células, e ambos são afetados pelo *déficit* hídrico na planta.

Neste estudo, o T-CCO foi o manejo de solo de maior eficiência na capacidade de armazenagem de água no solo, tanto na captação (período de precipitações pluviométricas – Figura 3.7), como na retenção da umidade do solo (veranicos- Figura 3.7), influenciadas pelas práticas de preparo do solo como a subsolagem, técnica de captação *in situ*, cobertura morta e uso do composto orgânico.

O T-P foi o tratamento de menor desempenho. A não mobilização do solo (adensado/compactado) limitou o desenvolvimento do sistema radicular condicionando o seu crescimento superficialmente (0,0-0,15 m), limitando seu aprofundamento e o seu desenvolvimento (redução da área foliar e porte da planta – Figura 3.8) tornando as plantas mais vulneráveis aos períodos de veranicos e ao *déficit* hídrico (Figura 3.7). O T-CCM; T-ESC e T-CS ficaram na sequência em uma situação intermediária (Figura 3.7).

Observações nesse sentido podem ser verificadas pelas alturas das lâminas de água no solo durante todo o ciclo do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Em vários momentos, a umidade do solo em alguns tratamentos (maior frequência para o T-P; T-ESC e T-CS- Figura 3.7) ficou abaixo da capacidade de campo (53 mm em média - medida em laboratório – Figura 3.7). Exemplos desta natureza são visualizados no 6, 20, 28, e 34 DAP (fase vegetativa do feijão-de-corda); e no 43, 50, 55, e 58 (na fase reprodutiva).

### 3.3.2 Efeitos dos diferentes manejos de solo nas trocas gasosas das plantas

Nas Tabelas 3.2 e 3.3 estão os resultados das análises nas trocas gasosas das plantas do feijão-de-corda sob os efeitos dos manejos do solo, implementados no experimento da condição de umidade do solo próxima a capacidade de campo (16/05/2013, 37 DAP- Tabela 3.2) e após a ocorrência de um veranico de dez dias sem chuva (06/06/2013, 58 DAP - Tabela 3.3).

Os resultados das análises quando o solo se manteve na capacidade de campo (dia 16/05/2013), mostraram que não ocorreu nenhuma diferença significativa entre as variáveis de trocas gasosas (condutância estomática, taxa de fotossíntese e taxa de transpiração) e a temperatura foliar da planta em todos os tratamentos (Tabela 3.2). Isso está relacionado ao

elevado conteúdo de água do solo, uma vez que a umidade estava próximo à capacidade de campo (lâmina de água nas proximidades de 24 mm- Figura 3.2). Solos nessas circunstâncias, com água abundante, favorecem a troca de água pela transpiração, permitindo maiores trocas de CO<sub>2</sub> com o ambiente que eleva a atividade fotossintética, o crescimento e a produção (KERBAURY, 2009).

Tabela 3.2 - Resultado do teste de Tukey entre os tratamentos para condutância estomática (gs), taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E) e temperatura das folhas (T1) de folhas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) ao 37° DAP

Tratamento	gs		A		E		T1	
	(mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		(μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		(mmolm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		°C	
	7:30	12:00	7:30	12:00	7:30	12:00	7:30	12:00
T-P	1,617a	1,653a	26,860a	29,182a	11,219a	15,438a	27,742a	31,045a
T-ESC	1,719a	1,546a	28,756a	30,538a	11,687a	16,407a	28,040a	32,143a
T-CS	1,485a	1,652a	28,520a	30,589a	11,554a	16,254a	28,213a	31,746a
T-CCM	1,644a	1,678a	29,294a	31,544a	12,114a	16,919a	28,401a	32,014a
T-CCO	1,777a	1,709a	29,478a	31,851a	11,920a	16,515a	28,024a	31,680a

\*Médias com as mesmas letras não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: O autor.

Na Tabela 3.3 é apresentado os resultados das trocas gasosas, mas, na condição de um veranico de dez dias sem chuva (06/06/2013). Verifica-se neste caso uma diferença significativa das variáveis de trocas gasosas (condutância estomática, fotossíntese e transpiração) entre os tratamentos. A temperatura continuou a apresentar resultados não significativos entre esses tratamentos.

Tabela 3.3 - Resultado do teste de Tukey entre os tratamentos para condutância estomática (gs), taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E) e temperatura das folhas (T1) de folhas de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) ao 58° DAP

Tratamento	gs		A		E		T1	
	(mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		(μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		(mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )		°C	
	7:30	12:00	7:30	12:00	7:30	12:00	7:30	12:00
T-P	0,970a	0,629ab	22,147ab	24,860a	8,032a	10,543a	28,057a	32,648a
T-ESC	0,611a	0,218b	20,385b	15,273b	6,619a	5,921b	28,508a	34,611a
T-CS	0,820a	0,231b	19,542b	15,641b	7,608a	6,067 b	28,593a	34,656a
T-CCM	0,933a	0,634ab	25,445 a	28,067a	8,263a	10,827a	28,430a	33,232a
T-CCO	0,962a	0,741a	23,661ab	27,739 <sup>a</sup>	8,207a	11,520a	28,311a	33,493a

\*Médias com as mesmas letras não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: O autor.

Analisando-se primeiramente a condutância estomática entre os tratamentos na primeira leitura 7h30min não se observa nenhuma diferença significativa, mas na segunda leitura às 12h00 os resultados mostraram diferenças significativas entre estes. Observa-se, neste horário (12h), uma redução nas variáveis da condutância estomática em relação ao observado às 7h30min. Nesse intervalo de tempo as reduções registradas em T-P; T-ESC; T-CS; T-CCM e T-CCO foram de 35; 64; 72; 32 e 23% respectivamente (Tabela 3.3).

A diferença nos valores das leituras entre 7h30min e 12h está relacionada ao potencial hídrico da planta. Pela manhã, o potencial hídrico tende a apresentar o seu máximo potencial para a condição hídrica em que o solo se apresenta (PASSOS *et al.*, 2005; COSTA; MARENCO, 2007; PEIXOTO, 2011). Os horários de maior intensidade de radiação, próximos ao meio-dia, favorecem o aumento do *déficit* da pressão de vapor de água entre a folha e o ar, reduzindo o potencial hídrico da planta, o que influencia as variáveis fisiológicas da mesma.

As reduções na condutância estomática entre os tratamentos observados aos 58 DAP (Tabela 3.3) foram similares às diferenças no armazenamento de água no solo entre os mesmos tratamentos (Figura 3.7 – 58 DAP). Esses resultados demonstram coerência com os resultados alcançados por Bianchi *et al.* (2007), os quais observaram que essa variável teve relação direta com o nível de disponibilidade de água no solo, independentemente do sistema de manejo do solo.

O elevado resultado da leitura da condutância estomática no T-P (Tabela 3.3), em 06/06/2013, está relacionado a dois eventos de precipitações pluviais que ocorreram nos dias 05/06/2013 (2,2 mm) e na manhã do dia 06/06/2013 (4,2 mm) horas antes da leitura.

O T-P, por não ter recebido nenhuma movimentação no solo, a não ser da enxada por ocasião do plantio manteve o solo compactado ou adensado dificultando o desenvolvimento de suas raízes (Figura 3.8) que, raramente, ultrapassavam os 0,10 m de comprimento. Por serem muito recentes as precipitações e em pequenas quantidades, devem ter ficado somente na primeira camada (0,0-0,15 m), local em que se encontravam as raízes do feijão, alterando sua resposta no momento da leitura das variáveis estudadas.

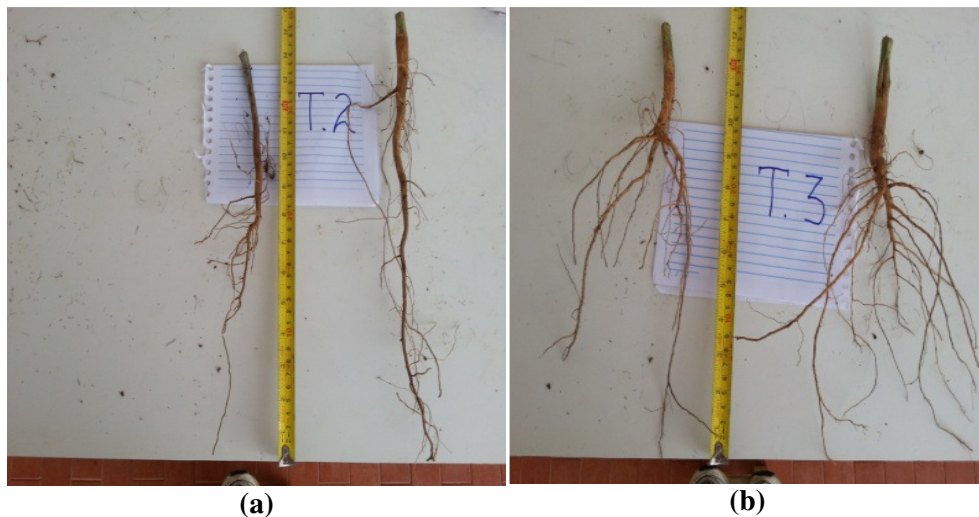
O suprimento de água ao solo no T-P, após os eventos pluviométricos (2,2 e 4,2 mm), pode ser observado pelo aumento do armazenamento de água na primeira camada 0,0-0,15m do solo no dia 06/06/2013 (Figura 3.2- 58 DAP).

O T-ESC apesar de, também, apresentar aumento no armazenamento da água no solo, as plantas não responderam da mesma forma que as plantas do T-P. Isso pode estar

relacionado ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas nesse tratamento (mais profundo), uma vez que o suprimento de água não alcançou a segunda camada (0,15-0,30 m).

O T-ESC e T-CS (Figura 3.7) apresentaram na camada de 0,15-0,30 m os menores conteúdos de água no solo, apesar de terem se submetido à escarificação (T-ESC), à subsolagem (T-CS) e desenvolvido bem seus sistemas radiculares (Figura 3.9). A presença do selamento superficial e/ou o processo de umedecimento e secagem do solo podem ter influenciado o retardamento da infiltração da água até as camadas de suas raízes, mostrando uma situação diferenciada da realidade expressada no desenvolvimento das plantas.

Figura 3.9 – Sistema radicular do feijão-de-corda no T-ESC (a) e T-CS (b)



Fonte: O autor.

O processo de infiltração da água no solo, no semiárido nordestino, é influenciado pelo processo de umedecimento e secagem (ocorrências de constantes veranicos) e das altas intensidades das precipitações pluviométricas, que favorecem a formação do selamento superficial do solo, o que resulta na diminuição da taxa de infiltração (SILVA *et al.*, 2001 ; BRANDÃO, 2007).

O T-CCM e T-CCO, por terem cobertura vegetal morta, não apresentaram o selamento superficial, além de demonstrarem, desde o início, maior potencial de capacidade de armazenagem da água no solo (Figura 3.7).

Portanto, o suprimento hídrico pelas precipitações pluviométricas em dois eventos de 2,2 e 4,2 mm, embora em pequena quantidade, promoveu alterações na lâmina de água armazenada no solo, contribuindo para uma diferenciação na condutância estomática com reflexos na taxa de transpiração e taxa fotossintética entre os tratamentos de forma diferenciada naquele momento da leitura (Tabela 3.3).

Eventos dessa natureza mostram a sensibilidade da condutância estomática nas plantas em relação à disponibilidade hídrica do solo. Em resposta ao *déficit* hídrico, as plantas reduzem a abertura dos estômatos, influenciando outras variáveis como a taxa de transpiração e a taxa de fotossíntese com consequências na produtividade das culturas (TAIZ; ZEIGER, 2009; FRANÇOIS, 2012).

A taxa de transpiração teve um comportamento semelhante ao da condutância estomática pela manhã às 7h30min, ou seja, os tratamentos não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 3.3). A análise das médias pelo teste de Tukey mostrou, apenas, diferenças significativas entre os tratamentos a partir das 12h, onde o T-ESC e o T-CS apresentaram uma redução na taxa de transpiração de 11 e 20%, respectivamente, em relação aos valores medidos às 7h30min. Para Thomas *et al.*, (2000), a redução da taxa de transpiração é uma resposta ao *déficit* hídrico pelas plantas.

O T-P, T-CCM e o T-CCO aumentaram em 31%, 31% e 40%, respectivamente, na leitura das 12h em 06/06/2013, em relação às leituras das 7h30min (Tabela 3.3). Apesar de a condutância estomática apresentar redução dos seus valores em todos os tratamentos durante o intervalo das 7h30min às 12h, a elevação da taxa de transpiração, apenas, nos três tratamentos (T-1; T-4 e T-5) demonstra a resposta das plantas à lâmina de água adicionada ao solo pelo suprimento hídrico proveniente dos dois eventos de precipitações pluviométricas, que ocorreram entre o 55 e 58 DAP.

Contribui, também, para a elevação da taxa de transpiração o aumento do *déficit* de pressão de vapor d'água na atmosfera (DPV). Santos e Carlesso (1998) resumem todas essas variáveis de interferência (precipitações, veranicos, manejo do solo, DPV e outras) na disponibilidade de água à planta às interações entre o sistema solo-planta-atmosfera.

A análise das médias pelo teste de Tukey para a variável da fotossíntese (Tabela 3.3) mostra uma diferença significativa logo na leitura das 7h30min entre o T-CCM, o T-ESC enquanto o T-CS. O T-CCO e o T-P encontram-se em uma posição intermediária, ou seja, não diferem dos demais tratamentos. Às 12h os tratamentos T-P; T-CCM e o T-CCO diferenciaram-se estatisticamente dos tratamentos T-ESC e o T-CS.

A taxa fotossintética às 12h apresentou entre os tratamentos os mesmos resultados obtidos pela transpiração, ou seja, o T-P; T-CCM e o T-CCO diferenciaram-se estatisticamente, dos resultados dos tratamentos T-ESC e T-CS. Esses resultados evidenciam a redução na absorção do CO<sub>2</sub>, influenciando na redução da taxa fotossintética (BRUNINI; CARDOSO, 1998).

Ao se analisar as duas variáveis (condutância e fotossíntese), no período das 7h30min às 12h, verifica-se que, para o T-P; T-CCM e T-CCO, apesar da redução média da condutância estomática em 30%, a fotossíntese, mesmo assim, mostrou uma atividade positiva para esta variável, elevando em média 12%. Ao contrário, nos tratamentos T-ESC e T-CS ocorreram uma redução tanto na condutância estomática (média de 69%), como na taxa fotossintética com uma redução média de 58% (Tabela 3.3).

A temperatura Tabela 3.3, assim como na Tabela 3.2, não apresentou resultados estatísticos significativos, mas obteve um aumento médio da leitura após o veranico de dez dias (dia 06/06/2013) de 0,3 °C na primeira leitura (7h30min) e 2 °C na segunda leitura (12h00). O *déficit* hídrico condiciona o aumento da temperatura foliar elevando-se em relação à temperatura do ar (MENDES *et al.*, 2007).

De acordo com Pazzetti *et al.* 1992, pequenas variações no teor de água no solo é o suficiente para o aumento da temperatura foliar em comparação com o estado ótimo de desenvolvimento da cultura.

As reduções verificadas nas variáveis fisiológicas da cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) mostram a reação da cultura na defesa de manter a turgescência de suas células, quando se verifica uma deficiência hídrica no solo (LARCHER, 2006), como o verificado pelo estresse de dez dias sem chuva (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Redução entre os tratamentos para a condutância estomática (gs), taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E) para a condição de dez dias de veranicos (06/06/2013) em relação à condição da capacidade de campo (16/05/2013)

Tratamento	gs		A		E	
	7h30min	12h	7h30min	12h	7h30min	12h
	% de redução					
T-P	40	62	28	15	28	32
T-ESC	64	86	29	50	49	64
T-CS	45	86	31	49	34	63
T-CCM	43	62	13	11	32	36
T-CCO	46	57	20	13	31	32

Fonte: O autor.

O *déficit* hídrico nas plantas, resultante dos dez dias de veranicos, ocasionou reduções diferenciadas nas trocas gasosas entre os tratamentos em comparação com os resultados obtidos na medição realizada quando o solo se encontrava na capacidade campo (Tabela 3.4).

Para a situação mais crítica do *déficit* hídrico (horário das 12h) o T-CCO apresentou uma redução na condutância estomática (Figura 3.4) de 57%; o T-CCM e o T-P, de 62%; e o T-CS e o T-ESC, de 86%. A diferença de 29% desta variável entre o T-CCO e os tratamentos T-ESC e T-CS representa a resposta das plantas à disponibilidade de água, influenciada pelos efeitos das práticas agrícolas nos manejos do solo entre os tratamentos que poderão resultar no alcance de maiores rendimentos por parte do T-CCO.

Como defesa do feijão-de-corda (variedade Setentão) ao *déficit* hídrico nos dez dias de veranicos para a manutenção de sua turgescência, a planta reduziu sua taxa de transpiração em todos os tratamentos. A redução na taxa de transpiração verificada entre as plantas quando o solo se encontrava nas proximidades da capacidade de campo (16.05.2014) para o solo após dez dias de veranicos variou entre os tratamentos. Em ordem crescente dos tratamentos as reduções foram da ordem de 32%; 64%; 63%; 36% e 32%.

A baixa disponibilidade de água disponível para as plantas, fruto da redução da lâmina de água no solo ocasionada pelos dez dias de veranico (Figura 3.7), contribuiu para gerar um *déficit* hídrico na planta, causando uma redução na taxa de transpiração (Tabela 3.4). As maiores reduções foram observadas nos tratamentos T-ESC e T-CS que, no momento da leitura, continham as menores lâminas de água no solo. Reduções na taxa de transpiração em relação à baixa disponibilidade de água no solo, também, foram observadas por outros autores (CASTRO NETO, 2003; PIMENTEL, 2004; GONÇALVES *et al.*, 2009).

Reduções nas taxas fotossintéticas foram mais intensas quanto maior for a redução da quantidade de água no solo (SANTOS *et al.*, 2009; FRANÇOIS, 2012). Após os dez dias de veranicos, as reduções na taxa fotossintética foram em ordem crescente dos tratamentos de 15; 50; 49; 11; e 13% (Tabela 3.4).

As respostas das plantas aos níveis crescentes do *déficit* hídrico no solo representa o aumento da sua resistência à perda de água pelo fechamento dos estômatos, que reduzem a fixação do CO<sub>2</sub> (ROSA *et al.*, 1991) com consequência na produção de fotoassimilados, impactando no rendimento dos grãos.

Assim, todos os resultados obtidos no aumento e conservação do armazenamento da água no solo (principalmente no período dos veranicos) pelos resultados das práticas nos manejos do solo investigados terão influências significativas no desenvolvimento e rendimento das plantas cultivadas.

### 3.3.3 Efeitos dos manejos na produção de matéria seca e rendimento dos grãos na cultura do feijão-de corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

Na Tabela 3.5 estão os resultados da análise das médias pelo teste de Tukey entre os tratamentos para a produção de matéria seca nas folhas, hastes, vagens e rendimento dos grãos ao final do ciclo do feijão de corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

Observando as variações da lâmina de água no solo verifica-se que, em vários momentos, tratamentos ficaram abaixo da capacidade de campo (53 mm em média - Figura 3.7) durante o ciclo do feijão. Exemplos dessa natureza são visualizados no 6, 20, 28, e 34 DAP (fase vegetativa do feijão-de-corda - Figura 3.2) e no 43, 50, 55, e 58 (na fase reprodutiva - Figura 3.7).

Tabela 3.5 - Produção da matéria seca nas folhas, hastes, vagens e rendimento da cultura do feijão nos diferentes tratamentos

Tratamento	MSF	MSH	MSV	Rendimento
	gramas por planta			
Unidade	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
T-P	11,0458 b	15,7375 b	8,8515 b	1272,58 b
T-ESC	17,4625 a	29,4833 ab	12,3655 ab	1570,51 ab
T-CS	13,8250 ab	20,2208 ab	8,5982 b	1145,14 b
T-CCM	17,1833 a	30,2375 ab	13,8839 a	1913,21 a
T-CCO	17,4583 a	31,6958 a	16,2104 a	2169,76 a
C V(%)	18,24	26,81	17,27	17,90

\*Médias com as mesmas letras não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5%.

Destacam-se o T-P pelo maior número de vezes que fica submetido a essa situação e o T-CCO por ser o que menos ficou abaixo da capacidade de campo. Os demais ficaram entre estes tratamentos (Figura 3.7).

Pelas respostas da planta do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) ao déficit hídrico no final do período de dez dias sem chuva (Tabela 3.3) e as observações acima discriminadas, os resultados das leituras das variáveis da condutância estomática, taxa de fotossíntese e taxa de transpiração são coerentes com os resultados da produção de matéria seca nas folhas, hastes, vagens e rendimentos da cultura do feijão-de-corda (Tabela 3.4).

Dessa forma, os resultados comparativos das médias da matéria seca das folhas, hastes, vagens e dos rendimentos dos tratamentos (Tabela 3.4) evidenciam as diferenças já



manifestadas pelas variáveis fisiológicas estudados, efetivando o T-CCO como o de melhor disponibilidade hídrica para o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) (Figura 3.7) durante o experimento realizado, e o T-P o de menor disponibilidade enquanto os demais situaram-se em posições intermediárias.

O T-P foi o que resultou em menor disponibilidade hídrica entre todos os tratamentos. Por somente mobilizar o solo, superficialmente, e somente na cova para o plantio do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), o adensamento/compactação do solo teve grande influência não só na captação da água da chuva, mas, em contribuir, também, no aumento da resistência à penetração das raízes como o observado na Figura 3.8, inibindo o desenvolvimento do sistema radicular, hastes e folhas das plantas (Tabela 3.4).

A Tabela 3.5 resume os resultados dos rendimentos entre os tratamentos onde apresentou os aumentos do T-CCO em relação aos demais tratamentos em: 41% para o T-P; 28% para o T-ESC; 47% para o T-CS e 12% para o T-CCM.

Na Tabela 3.6 resultados são apresentados sobre o índice de colheita (IC) do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): no 58 DAP, quando da coleta de material para o cálculo da produção de matéria seca; e o 70 DAP, quando foi realizada a colheita total do experimento em todos os tratamentos. Os dados de IC obtidos aos 58 DAP, indicam que houve retardamento no desenvolvimento das plantas, nos tratamentos T-CS, T-CCM e T-CCO. Observa-se, também, que ocorreu expressivo aumento no IC nestes dois últimos tratamentos ao final do ciclo.

Tabela 3.6 – Índice de Colheita (IC) do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) estimado no 58º DAP e ao final da coleta das vagens no 70º DAP

TRATAMENTOS	IC	
	58 DAP	70 DAP
T-P	18,1 ± 3,0	25,9 ± 3,4
T-ESC	15,5 ± 2,0	21,5 ± 1,9
T-CS	11,9 ± 0,8	20,1 ± 0,6
T-CCM	11,8 ± 1,8	22,7 ± 1,3
T-CCO	12,9 ± 2,2	24,9 ± 1,7

\* médias ± erro padrão da média; n = 4.

Fonte: O autor.

A coleta do material no 58 DAP ocorreu em função do início de secamento das folhas e vagens do T-P, T-ESC e T-CS ao final do veranico de dez dias por sentirem maior estresse hídrico. Esses mesmos tratamentos tiveram o início da floração entre o 39 e 42 DAP, enquanto o T-CCM e T-CCO entre o 43 e 45.

O maior período do desenvolvimento vegetativo das plantas no T-CCM e no T-CCO pode estar relacionado a maior umidade do solo por um maior período de tempo durante parte do ciclo da cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) o que retardou o início da fase de produção (floração e produção de grãos). De acordo com Lacerda et al. (2011), a manutenção de elevados teores de umidade do solo durante o florescimento pode alterar o padrão de desenvolvimento de leguminosas como o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), retardando e diminuindo a produção de vagens. Vale salientar que o período de maior umidade do solo no presente estudo, foi bem inferior ao observado pelos autores acima citados. Além disso, o período de estresse subsequente, favoreceu a transformação de grande parte da massa acumulada nos órgãos vegetativos para os órgãos reprodutivos, após o último período de estresse hídrico, fato também não observado no trabalho acima citado.

Observa-se que o IC, ao final da colheita total do experimento, em relação ao do 58 DAP mais que dobrou nos tratamentos em que se usaram as práticas de cobertura morta (T-CCM) e cobertura morta + composto orgânico (T-CCO), despontando em maiores rendimentos o T-CCO.

### 3.4 Conclusão

1. As alterações nas propriedades físicas do solo (densidade e porosidade) oriundas dos efeitos das práticas de preparo e manejo do solo não mostraram diferenças significativas na condutância estomática, taxa fotossintética, taxa de transpiração e na temperatura foliar entre os tratamentos estudados, quando tais medições foram realizadas com a umidade do solo próxima da capacidade de campo.
2. O veranico de dez dias (58 DAP) em Argissolos no semiárido provocou diferenças significativas entre os tratamentos quanto as variáveis fisiológicas trabalhadas, sendo que o T-CCO, no qual se empregou diferentes práticas de preparo e manejo do solo (subsolagem, captação *in situ*, cobertura morta e compostagem) resultou em maior retenção de água e manutenção de melhor estado fisiológico das plantas.
3. Precipitações pluviométricas de pequenos volumes (2,2 e 4,2 mm) foram capazes de manter e aumentar a taxa de transpiração e a taxa fotossintética, mesmo com a redução da abertura dos estômatos, demonstrando a resposta das plantas ao conteúdo da água disponível no solo independentemente do manejo.
4. A cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) respondeu, positivamente, aos efeitos das práticas de preparo e manejo do solo (subsolagem, captação *in situ*, cobertura morta e compostagem) quanto à armazenagem da água em função das alterações nas propriedades físicas do solo. O aumento no rendimento dos grãos do T-CCO (menor *déficit* hídrico durante todo o ciclo do feijão) em relação aos demais tratamentos foram, respectivamente, na ordem crescente (do primeiro ao quarto) de 41%, 28%, 47%, e 12%.

## REFERÊNCIAS

- ANTONINO, A. C. D. *et al.* Balanço hídrico em solo com cultivos de subsitência no semiárido do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 29-34, 2000.
- ANJOS, J. B. *et al.* Captação “in situ”: água de chuva para produção de alimentos. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. cap. 7, p. 141-155.
- BESCANSA, P. *et al.* Soil water retention as affected by tillage and residue management in semi-arid Spain. Pamplona, Spain. **Soil & Tillage Research**, v. 87, n. 1, p. 19-27, 2006.
- BEZERRA, F. M. L. *et al.* Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2003.
- BIANCHI, C. A. M. *et al.* Condutância da folha em milho cultivado em plantio direto e convencional em diferentes disponibilidades hídricas. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 315-322, 2007.
- BRANDÃO, F. J. C. **Subsolagem em um Latossolo Amarelo coeso de Tabuleiro Costeiro e consequências no comportamento do cultivar Tangor Murcote**. 2005. 89f. Dissertação (Mestrado em Uso, Manejo e Conservação dos Recursos Naturais Solo e Água) - Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2005.
- BRANDÃO, V. S. *et al.* Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 129-138, 2007
- BRITO, L. T. L. *et al.* Perdas de solo e de água em diferentes sistemas de captação *in situ* no semi-árido brasileiro. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 507-515, 2008.
- BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico do solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 7, p. 1053-1060, 1998.
- CASTRO NETO, M. T. Efeito do déficit hídrico na transpiração e resistência estomática da mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 23-95, 2003.
- CORDEIRO, Y. E. M. *et al.* Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest ecology and management**, v. 258, n. 7, p. 1449-1455, 2009.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

DALMAGO, G. A. *et al.* Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, Suplemento 0, p.855–864, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. CNP- Arroz e Feijão Promove Reunião e Cursos sobre o Cultivo da Cultura do Caupi. Brasília: 46-82, 1982. (EMBRAPA/CNPAF. Informativo, 9).

FANCELLI, A. L. *et al.* **Feijão irrigado, tecnologia e produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005.

FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. 2012. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água do Solo) - Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012.

GICHERU, P. *et al.* Effects of soil management practices and tillage systems on surface soil water conservation and crust formation on a sandy loam in semi-arid Kenya. **Soil & Tillage Research**, v.75, n. 2, p. 173-184, 2004.

GONÇALVES, E. R. *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378–386, 2009.

GONZÁLEZ, A. P.; ALVES, M. C. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um Cambissol gleico de Lugo, Espanha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 45-50, 2005.

KERBAURY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 452 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 531p.

McHUGH, O. V. *et al.* Performance of in situ rainwater conservation tillage techniques on dry spell mitigation and erosion control in the drought-prone North Wello zone of the Ethiopian highlands. **Soil & Tillage Research**, v. 97, n. 1, p. 19-36, 2007.

MENDES, R. M. S. *et al.* Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p.95-103, 2007.

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de 24 níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e 25 grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 174-177, 2004.

NASCIMENTO, S. P. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca.**, 2009. 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2009.

PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 248-254, 2005.

PAZZETTI, G. A.; CANO, M. A. O.; RESENDE, M. Aplicação da termometria por infravermelho a irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): parâmetros fisiológicos. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v. 4, n. 1, p. 27-31, 1992.

PEIXOTO, C. P. **Curso de fisiologia vegetal**. Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA. Cruz das Almas. 177 f, impressão eletrônica, 2011.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, R.J.: Edur, 2004. 191p.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MAESTRI, M. Crescimento e relações hídricas de mudas de *Eucalyptus grandis* e *E. camaldulensis* em tubetes sob três regimes de irrigação. **Revista Árvore**, v. 12, n. 2, p. 183-195, 1988.

REPELLI, C. A.; ALVES, J. M. B. Variabilidade interanual da estação chuvosa no estado do Ceará e a probabilidade de ocorrência de veranicos. Ceará- Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, p. 95-106, 1996.

ROSA, L. M. *et al.* Responses of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. **Annals of Botany**, v. 67, n. 1, p. 51-8, 1991.

SAHRAWAT, K. L. *et al.* Managing natural resources of watersheds in the semi-arid tropics for improved soil and water quality: A review. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 3, p. 375-381, 2010.

SANTOS, M. G. *et al.* Photosynthetic parameters and leaf water potential of Five common beans genotypes under mild water deficit. **Biologic Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SILVA, M. S. L. da; GOMES, T. C. de A.; ANJOS, J. B. dos. **Solos adensados e/o compactados**: identificação/diagnóstico e alternativas de manejo. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2001. 6p. (Embrapa Semiárido.Circular técnica 76).

TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

THOMAS, D. S.; EAMUS, D.; SHANAHAN, S. Influence of season, drought and xylem ABA on stomatal responses to leaf-to-air vapour pressure difference of trees of the Australian wet-dry tropics. **Australian Journal of Botany**, v. 48, n. 2, p.143-151, 2000.

APÊNDICE A – Levantamento detalhado do solo da área experimental. Elaboração Funceme (2013)

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico abrupto A moderado textura média/média fase caatinga hiperxerófila relevo plano.

UNIDADE DE MAPEAMENTO:

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Fazenda Normal à 50 m da sede Uruquê. Quixeramobim-Ce. UTM: 0479651-9433795.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:

Trincheira aberta em área de relevo plano.

ALTITUDE: 248 m.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a Suave ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Marmeleiro, Jurema e Mofumbo.

USO ATUAL: Capoeira (foi plantado milho, sorgo, feijão e algodão).

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Horizonte A –(0 – 12 cm); Bruno-escuro (7,5YR 3/4, úmido), Bruno-forte (7,5YR 4/6, seco); franco-arenosa; moderada e forte, média e pequena, blocos subangulares e angulares; extremamente dura, friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- Horizonte Bt<sub>1</sub> – (12 – 37 cm); Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido), Vermelhoamarelado (5YR 4/6, seco); franco-argilo-arenosa; moderada e forte, pequena e média, blocos sub-angulares e angulares; cerosidade comum e moderada; extremamente dura, friável; muito plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Horizonte Bt<sub>2</sub> – (37 – 59 cm); Vermelho-escuro (2,5YR 3/6, úmido), Vermelho (2,5YR 4/6, seco); franca; moderada, média e pequena, blocos sub-angulares e angulares; cerosidade pouca e fraca; muito dura, friável; muito plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

- Horizonte BC<sub>1</sub>—(59 – 91 cm); Vermelho (2,5YR 4/6, úmido), Vermelho (2,5YR 4/8, seco); franco-arenosa; moderada, média e pequena, blocos sub-angulares e angulares; cerosidade pouca e fraca; muito dura, muito friável; plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- Horizonte BC<sub>2</sub> –(91 – 156 cm); Vermelho (2,5YR 4/8, úmido), Vermelho-amarelado (5YR 5/8, seco); franco-arenosa; fraca, pequena e média, blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; ligeiramente dura, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; Transição gradual e plana.
- Horizonte CB – (156 – 190 cm); Vermelho (2,5YR 4/8, úmido), Vermelho-amarelado (5YR 5/8, seco); franco-arenosa; moderada, média e pequena, blocos sub-angulares e angulares; cerosidade pouca e fraca; dura, muito friável, macia; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES: Poucas muito finas nos horizontes A, Bt1, Bt2, BC1, BC2 e CB.

OBSERVAÇÕES: Muitos poros pequenos no horizonte A; Muitos poros pequenos e poucos poros médios no horizonte Bt1; poros comuns pequenos e poucos poros médios nos horizontes Bt2 e BC1; poros comuns pequeno e poucos médios e grandes no horizonte BC2. Os dois primeiros horizontes encontravam-se bastante compactados. Segundo informações a área foi plantada com trator para experimentos da UFC com milho, feijão, sorgo e algodão em torno de 20 anos.

O horizonte A encontrava-se parcialmente truncado.