

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-RETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DOUTORADO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

**EFEITO DO CONTEÚDO DE ÁGUA DO SOLO, MONITORADO
COM TDR, SOBRE O DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE
DUAS CULTIVARES DE MAMONA.**

TESE

GENIVAL BARROS JÚNIOR

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
MAIO – 2007**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

GENIVAL BARROS JÚNIOR
ENGENHEIRO AGRÔNOMO

EFEITO DO CONTEÚDO DE ÁGUA DO SOLO, MONITORADO COM TDR, SOBRE O DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE DUAS CULTIVARES DE MAMONA.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADOR: Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

MAIO – 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B277e

2007 Barros Júnior, Genival.

Efeito do conteúdo de água do solo, monitorado com TDR, sobre desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamona / Genival Barros Júnior.— Campina Grande, 2007.

180f.: il.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientador: Hugo Orlando Carvalho Guerra.

1. Irrigação-Mamoneira. 2. Déficit Hídrico. 3. Mamona. I.
Título.

CDU 631.67:633.85



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COPEAG – PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE DE DOUTORADO

GENIVAL BARROS JÚNIOR

Título: “Efeito do conteúdo de água do solo, monitorado com TDR, sobre o desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamona.”

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra

Orientador

Prof. Dra. Lúcia Helena Garófalo Chaves

Examinadora

Prof. Dr. José Dantas Neto

Examinador

Prof. Dr. José Elias da Cunha Metri

Examinador

Prof. Dr. Francisco de Assis Oliveira

Examinador

Campina Grande, 31 de Maio de 2007

Aos meus pais que do alto de sua simplicidade e sabedoria souberam me apresentar os caminhos sem que para isto tivessem que cobrar pelo dia seguinte; a Verônica e Vinícius que abriram mão de inúmeras coisas para me acompanhar nesta jornada e aos meus irmãos, cunhados, cunhadas, sobrinhas, tios e primos pela grande força e os importantes incentivos para que chegasse até aqui.

DEDICO.

“Que homem é um homem se não tenta melhorar o mundo?”

Willian Monahan.

Em memória dos amigos André Luis e Nelson Mota, de quem sempre recebi inúmeros incentivos e que deixaram este plano durante o período da realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus que nos colocou no meio desta esplendorosa natureza, diante da qual somos apenas um minúsculo ponto.

À coordenação na pessoa da Professora Josivanda Palmeira Gomes e aos demais professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao orientador Professor Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra pelos ensinamentos, compreensão, parceria e amizade, além dos incontáveis esforços canalizados para concretização deste trabalho e na redação desta Tese.

Aos professores do Laboratório de Irrigação e Salinidade, Lúcia Helena Garófalo Chaves, Pedro Dantas Fernandes e Hans Raj Gheyi pela amizade e importantes contribuições durante o tempo que convivemos juntos.

Aos funcionários do LIS, Adilson David de Barros, Francisco Alves da Silva (Chico), Francisco de Assis Clementino (“Doutor”), José Wilson Barros e José Gomes da Silva (“Seu Zé”), pelo companheirismo, compreensão e valiosa ajuda na condução das análises no decorrer do experimento.

A Rivanilda e Aparecida, secretarias da Pós Graduação, pela atenção e ajuda sempre que necessitei durante o curso.

Aos técnicos do Laboratório de Química da EMBRAPA – CNPA, Adeilva Rodrigues Valença (“Diva”) e Francisco das Chagas Garcia (“Menezes”), pelas valiosas contribuições e auxílio nas análises dos teores de óleo e proteína das sementes de mamona.

Aos colegas Eliezer da Cunha Siqueira, Jorge Luiz da Cruz, Soahd Arruda Rached, Maria Leide Silva de Alencar, Vanda Maria de Lira, Frederico Antônio Loureiro Soares, Manoel Walnir Jr, Antônio Pinto Almeida, Luis Nery Rodrigues, Severino Pereira Júnior, Ridelson Farias, Paulo Torres, Daniel Kühner, José Everardo, Glawbber Saraiva, José Lins Maciel, Patrícia Hermínio, Karina Andrade, Karina Guedes, Reginaldo Gomes, Sérvulo Siqueira e, em especial, a Mario Luiz Farias Cavalcanti e Rogério Dantas de Lacerda, meus grandes parceiros e colaboradores ao longo de todo trabalho.

Ao Professor Dr. Fábio Henrique T. de Oliveira, pelas valiosas contribuições no manejo da adubação ao longo do experimento.

A todos os demais colegas dos Programas de Pós-Graduação da UFCG, que de uma forma ou de outra estiveram presentes nesta empreitada.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos primos-irmãos Ildefonso de Barros Neto e João Batista Barros de Amorim por sempre manifestarem um cuidado especial com a minha pessoa durante o desenvolvimento desta Pós Graduação, além da espontânea ajuda financeira que tornou menos árduo o caminho percorrido até aqui.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Índice Analítico

Lista de Tabelas.....	xii
Lista de Figuras.....	xv
RESUMO:.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 – Disponibilidade da água do solo para as plantas.....	3
2.1.1 - Fatores que afetam a retenção de água no solo.	5
2.1.1.1 - Textura.....	5
2.1.1.2 - Estrutura.....	5
2.1.1.3 - Densidade do Solo.....	7
2.1.1.4 - Matéria Orgânica.....	7
2.1.1.5 - Natureza das Argilas.....	8
2.1.1.6 - Presença de Sais Solúveis.....	8
2.2 - A água do solo no semi-árido brasileiro – disponibilidade.....	9
2.3 - Determinação do conteúdo de água no solo pelo método da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR).....	12
2.3.1 - Princípio de funcionamento do TDR.....	13
2.3.2 - Curvas de calibração.....	17
2.3.3 - Vantagens e desvantagens da metodologia.....	18
2.4 - A cultura da mamona.....	19
2.4.1 - Características agro - botânicas.....	19
2.4.2 - O metabolismo fisiológico da mamona.....	22
2.4.3 - Necessidades hídricas da cultura.....	23
2.4.4 - A importância econômica da mamona.....	26
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 - Localização da área experimental.....	32
3.2 - Caracterização do solo utilizado na aferição e calibração do TDR.....	32
3.2.1 - Textura.....	33
3.2.2 - Densidade global e das partículas – Porosidade.....	33
3.2.3 - Curva de retenção de água.....	33
3.3 - Calibração do TDR.....	34

3.3.1 - Descrição dos equipamentos	35
a) TENSIOMETROS	35
b) TDR TRIME – FM – Versão P2	35
c) TDR HH2 – DELTA T	35
d) GRAVIMETRIA	36
3.4 - Implantação do experimento com a cultura da mamona	37
3.4.1 - Cultivares de mamona testadas.....	39
- BRS 149 – Nordeste	39
- BRS 188 - Paraguaçu.....	39
3.4.2 - Níveis de água do solo estudados.	39
3.4.3 - Análise estatística dos dados	40
3.4.4 - Instalação e condução do experimento	43
3.4.5 - Variáveis analisadas nas cultivares de mamona	45
3.4.5.1 - Germinação e índice de velocidade de emergência (IVE)	45
3.4.5.2 - Altura de planta e taxa de crescimento absoluto da altura da planta	45
3.4.5.3 - Diâmetro do caule	46
3.4.5.4 - Número de folhas e Área foliar.....	46
3.4.5.5 - Dias para emissão da 1ª inflorescência (DEI), altura de emissão da 1ª inflorescência (AEI) e número total de inflorescências emitidas (NIE).	46
3.4.5.6 - Fitomassa (FT)	47
3.4.5.7 - Relação raiz / parte aérea	47
3.4.5.8 - Consumo de água pela mamona	47
3.4.5.9 - Eficiência do uso de água	47
3.4.5.10 - Teor de macronutrientes e micronutrientes nas folhas, caule e raízes	48
3.4.5.11 - Produção de frutos e sementes.....	48
3.4.5.12 - Teor de óleo e proteína nas sementes.....	49
4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 - Desempenho da instrumentação utilizada no monitoramento do conteúdo de água do solo	51
4.1.1 - Comportamento do TDR TRIME – FM quando comparado com o Método Gravimétrico	51
4.1.2 - Comportamento do TDR HH2 quando comparado com o Método Gravimétrico	53
4.1.3 - Comportamento dos TDR´s TRIME – FM e HH2 quando comparados com os tensiômetros.....	56

4.2 - Desempenho das cultivares de mamona submetidas a diferentes conteúdos de água no solo	59
4.2.1 - Germinação e índice de velocidade de emergência.....	59
4.2.2 - Altura de planta e taxa de crescimento absoluto da altura da planta	60
4.2.3 - Diâmetro do caule.....	68
4.2.4 - Número de folhas e área foliar	73
4.2.5 - Número de dias para emissão da 1ª inflorescência, altura de emissão da 1ª inflorescência e número de inflorescências emitidas	82
4.2.6 - Fitomassa.....	87
4.2.7 - Relação Raiz / Parte Área (R/PA)	89
4.2.8 - Consumo e eficiência do uso de água.....	91
4.2.9 - Teores de macro e micronutrientes em folhas, caules e raízes.....	95
4.2.10 - Produção de frutos e sementes.....	117
4.2.11 - Produção de óleo e proteína	124
5 - CONCLUSÕES	129
6 - BIBLIOGRAFIA.....	130
A N E X O S	146

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características agronômicas e tecnológicas de algumas cultivares de mamoneira exploradas na Região Nordeste do Brasil - sequeiro.....	20
Tabela 2 - Características físico-hídricas e químicas do solo utilizado no experimento de mamona após a correção da acidez.	38
Tabela 3 - Dados da curva de retenção de água do solo obtidos no extrator de Richards e estimados pela equação de van Genuchten.....	56
Tabela 4 - Resumo da análise de variância referente aos dados porcentagem de germinação (PG) e índice de velocidade de germinação (IVE) apresentadas pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	59
Tabela 5 - Resumo da análise de variância referente à variável altura da planta (AP) relativo aos dados obtidos até os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	61
Tabela 6 - Resumo da análise de variância referente a taxa de crescimento absoluto da altura da planta ¹ (TCAP) até os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	65
Tabela 7 - Resumo da análise de variância referente à variável diâmetro do caule (DC) relativo aos dados obtidos até os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	70
Tabela 8 - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente à variável número de folhas (NF) relativo aos dados obtidos até os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	74
Tabela 9 - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente à área foliar (AF) relativo aos dados obtidos até os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	75

Tabela 10 - Resumo da análise de variância referente ao número de dias para emissão da 1ª inflorescência (NDEI), altura de emissão da 1ª inflorescência (AEI) e número de inflorescências emitidas (NIE) pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	83
Tabela 11 - Resumo da análise de variância referente ao desdobramento da variável altura de emissão da 1ª inflorescência (AEI) pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	85
Tabela 12 - Resumo da análise de variância referente aos dados da fitomassa (FT) produzida pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	88
Tabela 13 - Resumo da análise de variância referente aos dados da relação Raiz / Parte Aérea ¹ (R/PA) apresentada pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	90
Tabela 14 - Resumo da análise de variância referente ao consumo total de água (CTA) e eficiência do uso de água (EUA) pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	92
Tabela 15 - Valores da eficiência do uso de água por cultivar em função dos conteúdos de água disponível no solo.	93
Tabela 16 - Resumo de análise de variância referente aos teores de macronutrientes presentes nas folhas das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	96
Tabela 17 - Resumo de análise de variância referente aos teores de macronutrientes presentes no caule das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	100
Tabela 18 - Resumo de análise de variância referente aos teores de macronutrientes presentes nas raízes das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....	103

Tabela 19 - Resumo de análise de variância referente aos teores de micronutrientes presentes nas folhas das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....107

Tabela 20 - Resumo de análise de variância referente aos teores de micronutrientes presentes no caule das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....111

Tabela 21 - Resumo de análise de variância referente aos teores de micronutrientes presentes nas raízes das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....114

Tabela 22 - Resumo da análise de variância referente a número (NF) e peso total de frutos (PTF) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.118

Tabela 23 - Resumo de análise de variância referente ao número de sementes (NS), peso total de sementes (PTS) e peso de 100 sementes (PCS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.119

Tabela 24 - Dados médios referentes ao peso de 100 sementes obtidos para as cultivares Nordestina e Paraguaçu aos 180 dias após semeio – Campina Grande – PB , 2007.122

Tabela 25 - Resumo de análise de variância referente aos percentuais (%) de óleo e proteína bruta produzidos nos três primeiros cachos pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.125

Tabela 26 - Percentual (%) médio de óleo produzido no 1º, 2º e 3º cachos das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....126

Tabela 27 - Percentual (%) médio de proteína bruta produzido no 1º, 2º e 3º cachos das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.....127

Lista de Figuras

Figura 1 - Croqui da área experimental com a disposição das parcelas e respectivos tratamentos.....	42
Figura 2 - Layout das profundidades monitoradas.....	43
Figura 3 - Comportamento do TDR TRIME – FM comparado ao teste padrão de gravimetria na determinação do conteúdo de água do solo em quatro diferentes profundidades.	52
Figura 4 - Comportamento do TDR HH2 comparado ao teste padrão de gravimetria na determinação do conteúdo de água do solo em quatro diferentes profundidades.....	55
Figura 5 - Curva de retenção de água ajustada	57
Figura 6 - Comportamento dos TDR`s TRIME FM e HH2 na determinação do conteúdo de água do solo comparados com as determinações dos tensiômetros na profundidade média de 10 - 20 cm.	57
Figura 7 - Dispersão dos dados na determinação dos conteúdos de água em % de volume obtidos por tensiômetros e TDR`S na profundidade média de 10 - 20 cm.	58
Figura 8 - Altura da planta (AP) de mamona, em cm, dos 40 aos 180 dias após semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.....	63
Figura 9 - Taxa de crescimento da altura da planta (TCAP) de mamona em cm dia ⁻¹ dos 20 aos 180 dias após semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.	67
Figura 10 - Diâmetro do caule (DC) de mamona em mm dos 40 aos 180 dias após semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.....	72
Figura 11 - Representação gráfica da distribuição do número de folhas por tratamento e por cultivar em diferentes períodos de determinação.....	76
Figura 12 - Número de folhas (NF) de mamona dos 40 aos 180 dias após semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.....	78
Figura 13 - Área foliar (AF) de mamona em cm ² dos 40 aos 180 dias após semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.....	81

Figura 14 - Altura da emissão da 1ª inflorescência (AEI) da cultivar de mamona Nordestina em cm em função de diferentes níveis de água no solo.	86
Figura 15 - Número de inflorescências emitidas (NIE) pelas cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo.	87
Figura 16 - Fitomassa (FT) produzida pelas cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo.	89
Figura 17 - Consumo total de água (CTA) e eficiência do uso da água (EUA) apresentados pelas cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo.....	94
Figura 18 - Macronutrientes presentes nas folhas das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.	97
Figura 19 - Macronutrientes presentes no caule das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.	101
Figura 20 - Macronutrientes presentes nas raízes das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.	104
Figura 21 - Micronutrientes presentes nas folhas das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.	108
Figura 22 - Micronutrientes presentes no caule das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.	112
Figura 23 - Micronutrientes presentes nas raízes das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.	115
Figura 24 - Dados absolutos referentes a produção de frutos e sementes das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.	120
Figura 25 - Produção de frutos e sementes das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.	123

Figura 26 - Teores de óleo e proteína extraídos das sementes de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS. 128

Efeito do conteúdo de água do solo, monitorado com TDR, sobre o desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamona.

RESUMO

A mamoneira, mesmo tendo sua produtividade diminuída sob déficit hídrico, tem sido apresentada como capaz de resistir às condições de baixa precipitação pluviométrica, sendo assim recomendada como uma boa alternativa de geração de renda para os produtores. De elevada importância econômica, dela se aproveitam as folhas, a celulose das hastes, o óleo e a torta extraídos das sementes, destacando-se o óleo por sua riqueza em ácido graxo ricinoléico e na substituição de derivados de petróleo. A carência de informações sobre os efeitos da escassez de água em regiões onde a baixa precipitação não consegue satisfazer sua demanda evapotranspirométrica, justificou o presente trabalho, que estudou o efeito do estresse hídrico por escassez de água no solo, monitorado com o uso do TDR (Time Domain Reflectometry) em duas cultivares de mamona (BRS - 149 e BRS - 188). Os trabalhos foram conduzidos numa estufa localizada no CAMPUS I da UFCG, de 07 de Fevereiro a 05 de Agosto de 2004, com as plantas de mamona dispostas num esquema fatorial 2 x 4, constituído pelas cultivares citadas e quatro conteúdos de água no solo (40, 60, 80 e 100% de água disponível no solo) com três repetições. Foram analisados tanto o desempenho do TDR no monitoramento do conteúdo de água do solo, quanto germinação, índice de velocidade de emergência das plântulas, altura da planta, taxa de crescimento da altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, dias para emissão da 1ª inflorescência, altura da emissão da 1ª inflorescência, número de inflorescências emitidas, fitomassa, relação raiz/parte aérea, consumo e eficiência do uso de água pelas plantas, teores de macro e micronutrientes nas folhas, caule e raízes e produção de óleo e proteína nas sementes de mamona. As análises realizadas indicam que o TDR foi eficiente na determinação do conteúdo de água do solo e no monitoramento das irrigações. Com relação à mamona, as análises estatísticas revelam não haver diferenças significativas entre as cultivares estudadas no que se refere à resistência ao déficit hídrico, nem registro de adaptações às condições limitantes de escassez de água no solo, com a Nordeste e a Paraguaçu mostrando-se sensíveis à falta de água, reduzindo drasticamente a capacidade de reverter a água consumida em produção de matéria seca à medida que o conteúdo de água do solo diminui. Entretanto, na ausência de estresse hídrico, são muito eficientes nesta transformação, redundando, conseqüentemente, numa maior produção de frutos por unidade produtiva.

Palavras – chaves: Irrigação da mamoneira; Déficit hídrico; TDR.

Effect of the soil water content, monitored by the TDR, on the development and production of two castor bean cultivars.

ABSTRACT

Although the castor bean plant has the production reduced by water deficits, due to the capacity to resist low precipitation conditions it is a good alternative for income generation. The castor bean has a great economical importance, they are utilized the leaves, the stem cellulose, the oil and the tort extracted from the seeds, standing out the oil due to its high content of graxo ricinoleico acid and because substitutes the petroleum derivates. The lack of information on the effects of water deficit in areas where low precipitation do not satisfy the plant evapotranspiration needs , justify the present work which study the effect of the water deficit, monitored by a Time Dominion Refractometry (TDR) method on two castor bean cultivars (BRS-149 and BRS-188). The experiment was conducted on a green house located on the Campus I of the Federal University of Campina Grande, Paraiba State, Brazil, during the period of February 23 to August 5 of 2004. The experimental design was a 2 x 4 factorial, with the castor bean cultivars and the soil water content (40, 50, 80 and 100% of the available water for the plants) as treatments. It was analyzed the TDR performance to monitor the soil water content, the germination, germination speed index, plant height, height growing rate, stem diameter, number of leaves, foliar area, days for the emission of the first inflorescence, number of inflorescences, phytomass, root/aerial part rate, water use and efficiency, macro and micronutrients content of the leaves, stem and roots, and oil and protein production of the seeds. Analyses of the results show that the TDR method was very efficient to determine the soil water content and to program the irrigations. With respect to the castor bean resistance to water deficit, the statistical analysis showed no significant differences among cultivars, neither the register of physiological adaptations to this condition, being very sensitive to water deficit, reducing drastically the capacity to convert the consumed water in dry matter as the soil water decrease. However, under the absence of water stress, both cultivars are very efficient to do this transformation, leading consequently to a greater fruit production per productive unit.

Keywords: water deficit resistance, TDR, plant nutrient content

1 - INTRODUÇÃO

Espécie essencialmente tropical, a mamona (*Ricinus communis L*) é uma planta que cresce naturalmente desde a longitude 40^o Norte até a 40^o Sul, sendo cultivada comercialmente em mais de 15 países destacando-se: Índia, China e Brasil (AZEVEDO et al., 1997), caracterizando-se por apresentar hábito arbustivo, com diversas colorações de caule, folhas e racemos (cachos), podendo ou não possuir cera no caule e pecíolo. Os frutos, em geral, possuem espinhos e, em alguns casos, são inermes. As sementes apresentam-se em diferentes tamanhos, formatos e grande variabilidade de coloração.

O óleo de mamona ou de rícino, extraído pela prensagem das sementes, contém 90% de ácido ricinoléico, o que lhe confere características singulares, classificando-o como um dos mais versáteis da natureza, o que possibilita uma ampla gama de utilização industrial, com utilidade só comparável à do petróleo, tendo a vantagem, porém, de ser um produto renovável e barato, o que torna a cultura da mamoneira um importante potencial econômico e estratégico ao Brasil. As folhas desta cultura podem servir de alimento para o bicho da seda; a haste, além da celulose para a fabricação do papel, pode fornecer matéria-prima para tecidos grosseiros; já a torta proveniente do esmagamento das sementes é utilizada como adubo orgânico possuindo, também, efeito nematicida, por fim, os seus restos culturais podem devolver ao solo 20 t/ha de biomassa por ciclo cultivado (AZEVEDO et al., 1997; FREIRE, 2001).

Por ser uma planta com capacidade de produzir satisfatoriamente bem sob condições de baixa precipitação pluviométrica, apresenta-se como uma alternativa de grande importância para o semi-árido. Nesta região, a cultura, mesmo tendo sua produtividade diminuída, tem-se mostrado resistente ao clima adverso quando se verificam perdas totais em outras culturas, sendo desta forma, uma das poucas alternativas de trabalho e de renda para as famílias agricultoras (CARVALHO, 2005).

Apesar desta possível resistência à falta de água em relação a outros cultivos, em regiões com precipitação inferior a 500 mm no período chuvoso a mamoneira perde grande parte da sua produção econômica, acentuando-se os riscos de perdas totais de safras. Por outro lado, propriedades físicas do solo, tais como estrutura, estabilidade dos agregados, dispersão das partículas, permeabilidade e infiltração são muito importantes na disponibilidade final de água para as culturas, sendo a prática da irrigação, em muitas situações, a única maneira de garantir a produção agrícola com segurança, principalmente em regiões de clima quente e

seco, como é o caso da região semi-árida, onde ocorre déficit hídrico acentuado para as plantas, uma vez que, a taxa de evapotranspiração excede a de precipitação durante a maior parte do ano (SHAINBERG e OSTER, 1978).

Naturalmente vigorosa e de fácil propagação, poucos são os cuidados dispensados ao manejo de água na mamoneira. A ausência quase que total de resultados de pesquisa a respeito dos efeitos de diferentes conteúdos de umidade existente no solo sobre o desenvolvimento e rendimento da cultura e o agravamento da crise de abastecimento de água, principalmente nas áreas semi-áridas, torna imprescindível estabelecer, através de pesquisas científicas como esta, fronteiras entre os limites mínimos de produtividade e a disponibilidade de água para culturas economicamente reconhecidas como adaptadas/viáveis à região, seja pela sua rusticidade ou pelo potencial de renda que representa para as inúmeras famílias que buscam alternativas para melhorar as suas condições de vida.

Monitorar com precisão o conteúdo de água no solo, principalmente em áreas do semi-árido, constitui-se numa ação de extrema importância para a sustentabilidade da atividade agrícola. O método ideal para esta quantificação deve envolver uma propriedade física do solo ou uma característica altamente correlacionada ao seu teor de água (SILVA e GERVÁSIO, 1999), que permita uma determinação sem alterações das características físicas originais do mesmo. Das metodologias disponíveis para quantificação do teor de água no solo, destaca-se ultimamente a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR), por ser dotada de uma boa precisão, não destruir a estrutura física do solo e permitir a realização de múltiplas leituras, bem como um número infinito de repetições (COELHO et al., 2001).

O presente trabalho teve como objetivo principal estudar o efeito de diferentes regimes de água no solo no desenvolvimento e produção da mamona, visando atender a uma das mais crescente e importante demanda do agronegócio brasileiro, com fortes tendências a ligar e fortalecer ainda mais dois importantes setores da agricultura do semi-árido: a agroindústria e a agricultura familiar, contribuindo decisivamente para o avanço da fronteira do conhecimento científico e tecnológico no manejo da água, do solo e desta espécie já largamente cultivada na região. Um segundo objetivo foi avaliar a utilização do método TDR no monitoramento do conteúdo de água no solo, utilizando para isto um equipamento cujo sensor é capaz de realizar um monitoramento contínuo e simultâneo da água do solo em profundidades diferentes.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Disponibilidade da água do solo para as plantas

Ultimamente, acentuam-se os estudos em busca de diferentes critérios na determinação da disponibilidade da água do solo para as plantas e do momento e duração de ocorrências de déficit hídricos nas mais variadas regiões e suas implicações no crescimento e desenvolvimento de várias culturas (SANTOS e CARLESSO, 1999).

De acordo com Reichardt (1985), os vegetais geralmente absorvem centenas de gramas de água para cada grama de matéria seca que produzem, logo, para crescerem adequadamente, precisam ter garantido uma reserva de água tal que o consumo exigido pela demanda evapotranspirométrica, regida pelos fenômenos atmosféricos, seja plenamente atendido pelo suporte hídrico presente no solo. Desta forma, é muito importante estabelecer o nível crítico de umidade até o qual a redução do conteúdo de água presente no solo não afete, com conseqüente redução, a produtividade das culturas.

Para Withers e Vipond (1988), o solo acumula uma quantidade limitada de água, da qual só parte é disponível às plantas, o que determina a necessidade de irrigá-lo antes que esta fração seja totalmente consumida. Para ambos, o grande desafio encontra-se na determinação precisa do conteúdo de água disponível em tempo real no interior do mesmo e a velocidade de sua remoção, o que por sua vez irá determinar o volume de água a ser aplicado, impedindo que o limite inferior da capacidade de retenção de água na zona das raízes seja alcançado, com conseqüentes reduções no potencial produtivo das culturas. Este aspecto é ressaltado por Righes et al. (2003), que enfatizam a necessidade de determinação do conteúdo da água no solo como ferramenta indispensável na otimização do uso dos recursos hídricos, principalmente por considerar que a agricultura é responsável pelo consumo de aproximadamente 69 % da disponibilidade mundial de água.

Na tentativa de entender melhor as implicações diretas da disponibilidade da água do solo para as plantas, é necessário conhecer o fenômeno da retenção da água pelo solo (GUERRA, 2000). Segundo Libardi (2000), dois são os processos responsáveis diretamente pela retenção de água no solo, a capilaridade (a retenção ocorrendo nos microporos dos

agregados), fenômeno associado a interface ar – água, regido por uma complexa e irregular rede, composta por poros e canais, que tem origem na formação e estruturação dos sólidos e a retenção da água nas superfícies dos sólidos do solo, onde a água comporta-se como filmes presos a estas superfícies, constituindo um fenômeno comumente chamado de adsorção.

Para Guerra (2000), o fenômeno da retenção da água encontra-se relacionado a forças superficiais que estabelecem o nível de energia desta água no solo, caracterizando-se como uma propriedade particular do mesmo e que tem origem basicamente nos dois processos já citados anteriormente por Libardi (2000), a capilaridade e a adsorção.

O movimento da água através dos capilares, que no solo se dá por um emaranhado complexo e irregular de canais e poros, ocorre em função das tensões desenvolvidas nos microporos (DAKER, 1988), com a água se movimentando de um ponto a outro dentro do solo sempre que existe uma diferença de energia entre eles, indo de um ponto de maior potencial para um de menor, na busca espontânea do princípio universal do equilíbrio energético (GUERRA, 2000). Desta forma, a capilaridade torna-se essencial na avaliação da *tensão superficial*, caracterizada por ser a principal força de retenção de água nos poros.

Da mesma forma ocorre com o processo de adsorção, já descrito no item anterior, onde as forças que unem água e partículas do solo originam uma matriz energética que retém a mesma junto a estas partículas impedindo-a que seja deslocada pela força da gravidade (GUERRA, 2000).

Estas forças atuando paralelamente dão aos constituintes sólidos do solo certa “capacidade” de manter a água retida e de “controlar” a sua movimentação, sendo influenciadas, portanto, pelas propriedades físicas e composição química do solo, onde componentes como textura, estrutura, densidade, teor de matéria orgânica, tipos e qualidade das argilas (conteúdo e composição do material coloidal), tipos de sais solúveis, temperatura e outros, possuem um enorme poder de interferência sobre esta propriedade (MELO FILHO, 2002).

2.1.1 - Fatores que afetam a retenção de água no solo.

2.1.1.1 - Textura

Exercendo influência nas mais diversas variáveis relacionadas a interface solo – água, a textura está relacionada diretamente com a distribuição do tamanho das partículas de um solo, as quais agrupadas por frações são geralmente conhecidas como areia, silte e argila (MIRANDA, GONÇALVES E CARVALHO, 2001). A maior superfície específica e quantidade de poros fazem com que os solos de textura fina retenham uma maior quantidade de água do que os de textura grossa, porém, estes últimos quando saturados, facilitam a liberação da água muito mais rapidamente que os argilosos (GUERRA, 2000; KLAR, 1984).

A extração de água do solo pelas plantas exige das mesmas a aplicação de uma força de sucção, que será pequena se o solo tiver próximo da capacidade de campo (poros maiores e menores ocupados com água) e que aumenta à medida que o solo vai secando e a água fica retida apenas nos microporos; portanto, a facilidade com que as plantas extrairão água, varia com o seu conteúdo no solo e a forma de seu sistema capilar que é determinado, além da textura, também por sua estrutura (WITHERS E VIPOND, 1988). Ao influenciar a permeabilidade e a capacidade de armazenamento da água no solo, a textura passa a ser essencial na determinação da quantidade e intensidade de aplicação da água de irrigação. Nos solos de textura grossa, pela predominância de macroporos, a água drena com grande facilidade, ficando, portanto, armazenada por curto período de tempo e em pequena quantidade, o que gera uma necessidade de irrigar mais freqüentemente que nos solos de textura fina (GOMES, 1999).

Carlesso (1995) indica que estudos e pesquisas têm definido que a quantidade de água efetivamente armazenada no solo varia com a sua textura.

2.1.1.2 - Estrutura

A estrutura de um solo caracteriza o agrupamento total, arranjo mútuo, orientação ou organização de suas partículas, constituindo-se numa arquitetura complexa de difícil determinação direta. Nos solos arenosos, onde esta estrutura apresenta-se como friável

e desagregável, a capacidade de retenção de água é muito baixa quando comparado com solos argilosos, onde os elementos coloidais aglutinantes são mais presentes. As condições mais favoráveis de disponibilidade de água para as plantas encontram-se nos solos que apresentam estruturas prismáticas, também denominadas de blocos ou granular, caracterizadas por se enquadrar no meio termo entre estruturas completamente soltas e as formadas por grandes maciços, onde a água se move muito lentamente (KLAR, 1984).

Para Miranda, Gonçalves e Carvalho (2001), ao envolver a geometria do espaço poroso, a estrutura do solo torna-se extremamente importante na interação solo – água, principalmente no que se refere ao conteúdo de água presente no solo e a quantidade de energia com a qual estará retida. Os arranjos formados pelas unidades estruturais e seus agregados influenciam fortemente o sistema capilar existente na massa do solo, com os poros maiores respondendo pelo arejamento e facilidade de absorção de água, os intermediários tornando-se fundamentais na movimentação da água e os menores atuando na retenção da mesma (WITHERS E VIPOND, 1988).

Mesmo apresentando texturas iguais, os solos podem apresentar estruturas diferentes, influenciadas na sua formação pelas partículas argilosas coloidais, que, por floculação, se acumulam uma sobre as outras formando estruturas diversas, com maior ou menor grau de compactação, dando origem a espaços vazios e a zonas de aglomeração no interior do solo; é importante saber que a estrutura do solo, no momento da determinação da capacidade de campo, pode mudar substancialmente o conteúdo de água para um potencial matricial específico (GOMES, 1999).

Para Marouelli et al. (1994), cada solo apresenta características próprias quanto a capacidade de armazenamento de água em função do tamanho e natureza das partículas minerais que o compõe, bem como do arranjo destes elementos estruturais. Para estes autores, em linhas gerais, a textura é o parâmetro mais intimamente relacionado à capacidade de armazenar água, porém, ressaltam a existência de casos onde a estrutura do solo passa a ser tão ou mais importante que a textura, principalmente em situação de compactação onde a porosidade total é reduzida. Esta mesma abordagem é feita por Coelho Filho et al. (2001), porém ressaltando que a estrutura do solo apresenta um elevado grau de sensibilidade ao manejo agrônomico imposto à área, o que afeta diretamente a variabilidade da capacidade de retenção de água pelo mesmo. Portanto, as principais características físicas do solo (textura, estrutura, morfologia, temperatura) são responsáveis efetivamente pelo movimento da água no

seu interior, o que torna o aprofundamento do conhecimento destas características fundamental na racionalização e no manejo eficiente dos recursos naturais de uma região, em particular, do próprio semi – árido nordestino.

2.1.1.3 - Densidade do Solo

Dependente essencialmente da composição e da organização das partículas sólidas, ou seja, da textura e, principalmente da estrutura, a densidade do solo também expressa de forma indireta o grau de compactação deste solo, logo, a compactação reduz o volume e aumenta esta densidade, interferindo diretamente na quantidade de água retida (MIRANDA, GONÇALVES e CARVALHO, 2001); desta forma, para uma área em permanente cultivo, dentro de uma mesma mancha de solo, a densidade apresenta uma grande amplitude de valores em função das práticas de manejo adotadas, podendo ocorrer paralelamente uma redução da porosidade total, da infiltração e da própria condutividade hidráulica em relação à condição inicial deste solo (MELO FILHO, 2002).

2.1.1.4 - Matéria Orgânica

A matéria orgânica em decorrência das suas características físicas (contrações e subdivisões) e químicas (hidrófila) possui uma capacidade de reter água na proporção de 04 a 06 vezes o seu próprio peso (MALAVOLTA, 1976). O acúmulo de matéria orgânica no solo encontra-se determinado por uma combinação de fatores e pela qualidade, quantidade e tempo de sua decomposição, que por sua vez é regulada por fatores como a drenagem, a capacidade de retenção de água deste solo e a sua cobertura vegetal (VIEIRA, 1975). A matéria orgânica na forma de húmus possui ação cimentante nas partículas do solo, o que propicia estabilidade aos agregados.

A influência da matéria humificada na retenção de água pode ocorrer tanto na forma indireta como direta, sendo a primeira em função das melhorias provocadas nas propriedades físicas do solo e a segunda inerente a sua considerável capacidade de retenção. A capacidade de retenção pode variar de acordo com o estado da matéria orgânica, indo de 80 % de retenção para materiais crus a 400 % para turfas, podendo chegar a 800 % com o húmus (KIEHL, 1985).

2.1.1.5 - Natureza das Argilas

O elevado número de cargas negativas presente nas argilas confere as mesmas uma enorme capacidade de reter água, uma vez que exercem uma grande atração sobre as moléculas dipolares da água (GUERRA, 2000); já os diversos tipos de argilas presentes na natureza influenciam na retenção de água de forma diferente, com as argilas do tipo 2:1 (duas lâminas de silício para uma de alumínio) - as chamadas montmorilonita e vermiculita - retendo água com maior facilidade que as demais, em função da sua alta expansividade e enorme superfície específica. A permissão que a estrutura deste tipo de argila proporciona à água de se movimentar entre as unidades do cristal está diretamente relacionada à fácil expansão de suas unidades cristalográficas (GUERRA, 2000; KLAR, 1984).

2.1.1.6 - Presença de Sais Solúveis

A redução do potencial total de água do solo provocado pelos solutos osmoticamente ativos constitui-se em outro fator relevante na retenção de água nos solos (GUERRA, 2000), uma vez que nas raízes das plantas verifica-se a presença de camadas de células com diferente permeabilidade à solução do solo, o que passa a interferir diretamente na absorção, pois a depender do nível de concentração de sais na solução do solo, haverá uma variação na quantidade de energia que estas plantas empregarão para absorver a água disponível (KLAR, 1984).

A acumulação de sais solúveis onde predominam o Ca e Mg tende a deixar o solo floculado, solto e com boa permeabilidade, ocorrendo o contrário quando o acúmulo se dar com sódio trocável, que favorece o adensamento das camadas; assim, soluções de solo com altas concentrações de solutos ou de cálcio e magnésio, favorecem a retenção de água já que proporcionam ao solo boas propriedades físicas; por outro lado, diminutas presenças de sais em detrimento a proporções elevadas de sódio dificultam ou até mesmo impedem a passagem da água pelo interior de suas camadas, diminuindo fortemente a sua permeabilidade e friabilidade, afetando profundamente a capacidade deste solo de reter água e disponibilizá-la para as plantas (MEDEIROS e GHEYI, 2001).

2.2 - A água do solo no semi-árido brasileiro – disponibilidade.

Concentrada basicamente no nordeste do Brasil, a região caracteriza-se por apresentar peculiaridades que a torna “sui generis” no que se referem as condições físicas e climáticas quando comparado a outras regiões semi-áridas espalhadas pelo mundo (CARNEIRO, 1998). Em termos geológicos, evidencia-se a presença de cristalinos ocupando aproximadamente a metade da região, onde o armazenamento da água se restringe as zonas fraturadas, cujos solos caracterizam-se pedologicamente por serem rasos, pedregosos, de baixa capacidade de retenção de água e extremamente pobres em matéria orgânica.

No que se refere aos aspectos climáticos, a região tem um balanço hídrico deficitário, onde em média, tem-se uma evaporação de 2000 a 2500 mm/ano contra uma precipitação variando de 400 aos 800 mm/ano nas diversas áreas da região, além do que, a distribuição destes volumes ao longo do ano apresenta-se irregular, com a estatística registrando o escoamento em apenas um dia de 21 % de tudo o que precipita, chegando aos 63 % em menos de um mês, culminando com 99 % do total escoado em 180 dias (CARNEIRO, 1998).

Para o Ministério do Meio Ambiente (2000), no que diz respeito ao balanço hídrico do semi-árido, os registros apontam para um escoamento superficial nesta região em torno de 2,81 l/s/km², ou seja, menos de 10 % do escoamento superficial registrado na bacia amazônica (34,2 l/s/km²), configurando a severidade do quadro de escassez hídrica nesta região.

Estudos hidrológicos realizados por Rebouças e Marinho (1972), já apontavam números bastante significativos envolvendo o balanço hídrico da região, com uma precipitação pluviométrica anual para todo Nordeste girando em torno de 700 bilhões de m³, dos quais 642,6 bilhões de m³ são consumidos pela evapotranspiração (91,8 %), 36 bilhões m³ escoam superficialmente pelos rios para o mar (5,1 %), ficando armazenados e efetivamente disponíveis deste total apenas 22 bilhões de m³ (3,10 %).

Segundo a EMBRAPA (1997a), no semi-árido brasileiro, em cada 10 anos, três apresentam bons índices de precipitação pluviométrica, quatro caracterizam-se por ficarem próximos ou abaixo da média pluviométrica e os outros três são de seca impiedosa, sendo que, o problema encontra-se na concentração do período de chuva em apenas alguns meses do ano (novembro a março) com grande parte delas esvaindo-se sem qualquer utilização. Por outro lado, estes mesmos estudos apontam que, ao serem buscadas alternativas de

armazenagem dessa água em grandes barragens e açudes duas situações têm inviabilizado a sustentabilidade do recurso: o pouco tempo de permanência da água nos reservatórios por conta da elevada demanda atmosférica que a faz evaporar e a salinização de uma boa parte delas. Esta situação torna-se ainda mais preocupante quando analisamos os dados do IBGE de 2000 relacionados a vegetação do semi-árido, os quais apontam que 54% do Bioma Caatinga encontra-se em elevado estágio de antropização, o que tem causado impactos profundos sobre os recursos hídricos da região, tornando-os ainda mais escassos ou apresentando elevados índices de poluição, principalmente devido a que nestas áreas os solos são classificados na sua maioria como Neossolos Litólicos, Areias Neossolocias Quartzônicas e Luvisolos Não Cálcicos, todos caracterizados como rasos e com baixa capacidade de infiltração de água.

Mendes (1997) destaca que a aridez do semi-árido provoca uma inversão importante no regime de recarga dos leitos dos rios, uma vez que, ao terem o fluxo de drenagem permanentemente cortado, o lençol freático vai se tornando mais profundo, demandando cada vez mais água destes rios ao invés de contribuírem para a manutenção de suas correntezas, com os lençóis freáticos confinados mais profundos ocorrendo nas fraturas ou fendas onde, muitas vezes, as vazões encontradas são baixas (em torno de 2.000 l/h), o que contribui para uma significativa incidência de poços improdutivos. Como consequência desses fatores, os rios são de regime intermitente e o escoamento cessa no mês seguinte ao término das chuvas, com salinização frequente dos solos, sobretudo em caso de irrigação mal controlada.

Suassuna (2006) afirma que um terço dos açudes do Departamento Nacional de Obras de Combate à Seca (DNOCS) já apresentam problemas com a qualidade da água em seus perímetros irrigados. Segundo este mesmo autor, um outro agravante diz respeito ao armazenamento da água por processos de escoamento de pontos mais altos para acúmulo em pontos mais baixos dos terrenos, onde, neste deslocamento, a água arrasta diversos tipos de sujeiras, degradando a qualidade da água que é compartilhada ao mesmo tempo por pessoas e animais.

Mesmo com todo este cenário, Ribeiro (2005) afirma ser o semi-árido brasileiro a região mais bem servida de açudes no mundo, detendo também os melhores e mais bem elaborados projetos/construções, com capacidade para armazenarem juntos mais de 37 bilhões de m³. Segundo o autor, são mais de 70.000 açudes construídos pelo governo ou pela iniciativa privada, sendo que mais de 10 % deles foram projetados para suportar grandes

períodos de estiagem, levando em conta series históricas pluviométricas de mais de 30 anos. De acordo com Suassuna (2006), 80 % destes corpos d'água são caracterizados por apresentarem capacidade de armazenamento entre 10.000 e 200.000 m³.

Apesar da bacia hidrográfica do Nordeste, onde se localiza a grande maioria do semi-árido brasileiro, ser a 3ª maior do Brasil em superfície, sua significância em termos de reserva hídrica é bastante limitada face aos problemas de ordem climática e geológico apresentados anteriormente e que influenciam os regimes dos rios, os quais, com exceção do São Francisco e do Parnaíba, são temporários com baixíssimos rendimentos, cujo valor médio não ultrapassa os 3l/s/km² (CARNEIRO, 1998). Mesmo assim, este autor sinaliza um potencial hídrico que poderá viabilizar a irrigação de até 5.000.000 de hectares, desde que seja levado em conta uma combinação de fatores, estando 60 % desta área localizada no vale do Rio São Francisco, que inclui o lago de Sobradinho com os seus 35 bilhões de m³, constituindo-se no maior lago artificial de água doce do planeta.

Beltrão et al. (2002), ao apresentar recomendações para o cultivo da mamoneira consorciado com feijão caupi (*Vigna unguiculata L.*) para o Estado do Piauí, ressaltam características importantes que precisam ser levadas em conta com relação à disponibilidade de água na região, segundo os quais, em alguns municípios do semi-árido nordestino, principalmente neste Estado, no Rio Grande do Norte e Pernambuco, em nenhum mês do ano registra-se excedente de água ou mesmo umedecimento do solo, sendo a deficiência de água no solo uma constante. Ainda, segundo estes autores, a insolação nestas áreas chega a 3.400 horas / ano e a temperatura na superfície do solo ultrapassa os 65 ° C nos meses mais quentes.

2.3 - Determinação do conteúdo de água no solo pelo método da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR)

Os métodos avançados de determinação do conteúdo de água do solo, por serem precisos, oportunos e de fácil execução, contribuem decisivamente nos avanços em busca da otimização do manejo da água, seja em áreas secas ou irrigadas (COELHO et al., 2001); dentre estas técnicas, tem ganhado enorme interesse a Reflectometria no Domínio do Tempo (Time Domain Reflectometry - TDR), que foi utilizada inicialmente por volta de 1950 na localização da posição de quebras em cabos de linhas de transmissão e fios telefônicos subterrâneos (RIGHES et al., 2003).

O TDR baseia-se no mesmo princípio do radar e leva em conta a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética de alta frequência (> 50 MHz) ao longo de hastes de metal, paralelas, introduzidas no solo (RIGHES et al., 2003); o princípio comum entre estas duas técnicas consiste na observação das reflexões obtidas quando propagamos ondas em meios que apresentam descontinuidades, com a diferença que, enquanto no radar se emite um sinal elétrico para a atmosfera, no TDR o sinal é emitido numa linha de transmissão ou guia de onda. O intervalo de tempo entre a entrada da onda no solo e a reflexão do sinal depois de alcançado o final das hastes, possibilita a determinação do conteúdo de água (RODRIGUES et al., 2001).

Os circuitos eletrônicos embutidos nos corpos das sondas TDR geram ondas de alta frequência produzindo energia eletromagnética necessária à polarização das moléculas de água, até o limite que se precisa para se efetuar a medição da permissividade dielétrica. O tempo de deslocamento da energia eletromagnética ao longo de uma haste de onda é dependente desta permissividade (RIGHES et al., 2003).

Considerando que a constante dielétrica é uma característica altamente correlacionada com o teor de água torna-se possível estabelecer uma relação entre ambas de forma que se possa a partir de uma determinar-se a outra; os circuitos eletrônicos encapsulados no dispositivo de leitura nas duas sondas geram o sinal aplicado e mensuram o sinal de retorno. Essa informação é utilizada para a determinação do conteúdo médio de água do solo até a profundidade dos terminais. Os sinais de alta frequência são transformados em ondas, com frequência proporcional ao conteúdo desta água presente no solo. A voltagem dessa onda representa uma mensuração do conteúdo de água do solo; enquanto a velocidade do pulso

aplicado ao longo de uma haste-guia é dependente da constante dielétrica do material que a cerca, a amplitude da voltagem refletida é dependente do sinal elétrico aplicado às hastes da sonda (LEITE, 2003).

O aparecimento de osciloscópios de amostragem e de geradores de sinal com tempos de subida da ordem das dezenas de pico segundo, permitiu a aplicação da TDR a linhas com comprimentos muito pequenos. Adicionalmente, a precisão dos osciloscópios atuais é tão boa que permite detectar uma resistência de 10 mΩ em série ou de 1/4 de MΩ em paralelo com uma linha de transmissão de 50 Ω. Este mesmo princípio também é utilizado em outras aplicações, como é o caso dos sonares; na prospecção e refinação de petróleo; no sistema de orientação dos morcegos e no monitoramento dos movimentos de animais (insetos) em sistemas fechados (ROSÁRIO, 2004).

2.3.1 - Princípio de funcionamento do TDR

Estudos realizados por Dalton e van Genuchten (apud RIGHES et al., 2003) permitem concluir que, se uma diferença de potencial V é aplicada entre as placas de um capacitor de capacitância C_0 e cujo meio dielétrico é o ar, a carga elétrica (Q) armazenada no capacitor será dada por $Q = C_0 V$. Desta forma, segundo Salmeron (1962), se um material isolante é colocado entre as placas, haverá um aumento na carga elétrica armazenada e, conseqüentemente, a capacitância C também aumentará. A razão entre C e C_0 define a constante dielétrica (ϵ) do material que pode ser expressa por:

$$\epsilon = C / C_0 \quad (\text{eq. 1})$$

A determinação de ϵ é feita com referência a propagação de um pulso no ar.

A água em particular possui uma alta constante dielétrica quando comparada com a maioria das substâncias; para o caso específico do solo tem-se (SALMERON, 1962):

- ✓ Água líquida a uma temperatura de 20 ° C , apresenta constante dielétrica em torno de 81;
- ✓ Minerais (sólidos), apresentam constante dielétrica variando de 03 a 05;
- ✓ O ar, tem uma constante dielétrica de 01.

Esta característica é a que possibilita o uso do TDR na determinação do conteúdo de água no solo, com o valor da constante dielétrica da amostra de solo dependente muito mais do volume de água presente na mesma do que do volume dos outros dois componentes (RIGHES et al., 2003).

Topp et al. (1980) foram os pioneiros na aplicação do princípio do TDR na determinação do conteúdo da água no solo, medindo o tempo de trânsito do pulso eletromagnético em um cabo coaxial de comprimento conhecido e correlacionaram o valor da constante dielétrica (ϵ) do solo com o seu conteúdo de água (θ). Partindo do princípio de que o solo entre e ao redor das sondas funcionando como meio dielétrico é possível deduzir a velocidade de propagação do pulso em função do comprimento L da haste ao longo da qual ele se propaga, pela equação a seguir:

$$v = 2L / t \quad (\text{eq. 2})$$

onde, t é o tempo de propagação correspondente ao intervalo entre a entrada do pulso no solo e o seu retorno após atingir o final da sonda. Como a constante dielétrica do solo (ϵ) relaciona-se diretamente com v , temos $\epsilon = (c/v)^2$, sendo c a velocidade da luz no vácuo ($3 \times 10^8 \text{ m}^{-1}$); desta forma, substituindo a primeira equação na segunda obtemos $\epsilon = (ct / 2L)^2$. Logo, conhecendo-se o tempo t de propagação do pulso, pode-se facilmente calcular o valor da constante dielétrica (ϵ). Assim, esses autores sugeriram uma equação empírica sem embasamento físico, também conhecida como “Equação Universal” de calibração do TDR, de terceiro grau aplicável para solos minerais a qual estabelece $\theta = - 5,3 \times 10^{-2} + 2,92 \times 10^{-2} \epsilon - 5,5 \times 10^{-4} \epsilon^2 + 4,3 \times 10^{-6} \epsilon^3$, sendo possível a partir dela determinar o conteúdo de água presente numa determinada amostra de solo.

Em geral, com aumento do conteúdo da água do solo, o tempo de deslocamento dos pulsos aplicados aumenta; desta forma usa-se os formatos das ondas para se identificar as transições de impedância ocorridas nas extremidades da sonda; além disso, o pulso eletromagnético emitido pelo TDR é monitorado pelo equipamento no que se refere ao tempo em que foi acionado e o seu retorno ao ponto inicial (SILVA e GERVÁSIO, 1999). Logo, quanto maior for o volume de água presente no solo ao redor da sonda, maior será o valor obtido para a constante dielétrica (RIGHES et al., 2003).

As proposições para estabelecer a relação ϵ versus θ e calcular o conteúdo de água no solo também foram utilizadas por Ledieu et al. (1986), que também desenvolveram uma equação que estabelece $\theta = 0,1138 \sqrt{\epsilon} - 0,1758$; estes modelos geram curvas de calibração para solos minerais com conteúdo de água < que $0,5 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Já Roth et al. (apud COELHO et al., 2001), diferentemente dos autores anteriormente citados, desenvolveram uma equação embasada fisicamente considerando as fases do solo:

$$\theta = \frac{\epsilon_b^\beta - (1 - \eta) \epsilon_s^\beta - \eta \epsilon_a^\beta}{\epsilon_w^\beta - \epsilon_a^\beta} \quad (\text{eq. 3})$$

onde:

ϵ_b = capacidade dielétrica (adimensional) do meio poroso;

β = parâmetro adimensional relacionado com a geometria do meio poroso, que assume valor igual a 0,5 para meios porosos bifásicos / isotrópicos;

η = porosidade total do solo (m^3/m^3);

ϵ_s = capacidade dielétrica da fase sólida;

ϵ_a = capacidade dielétrica da fase gasosa;

ϵ_w = capacidade dielétrica da fase líquida.

Estes autores simplificaram o modelo, denominando-o de multifásico, que gera curvas de calibração para conteúdos de água de até $0,5 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, descrevendo uma faixa maior de umidade, passando a equação que quantifica o conteúdo de água a ser escrita da seguinte forma $\theta_v = \epsilon_b - (2 - \eta) / 8$, sendo ϵ_b a constante dielétrica do solo e η = porosidade total do solo (m^3/m^3) (COELHO et al., 2001).

Entretanto, diversos autores foram encontrando limitações para aplicação destas equações e passaram a sugerir outros modelos, ainda empíricos, mas caracterizados por serem mistos e que na sua grande maioria apresentam necessidade de calibrações específicas para cada condição e tipo de solo; entretanto, estas equações passaram a incorporar mais fortemente as influências de fatores como textura do solo, teor de matéria orgânica, conteúdo de elementos metálicos e a própria constante dielétrica (ϵ) (RIGHES et al., 2003).

A técnica do TDR, além da determinação do conteúdo de água do solo, também pode ser utilizada para estudos e investigações em pedologia, inclusive com aplicações para o

desenvolvimento de métodos para determinação da condutividade hidráulica do solo (MELO FILHO, 2002)

As guias de onda mais comuns do TDR são constituídas por duas hastes grossas, conexão não fixa com o cabo, que permite instalação em vários pontos e utiliza a mesma conexão para leituras em diversos locais, sendo geralmente utilizada para monitorar o conteúdo de água na superfície do solo. Um outro tipo de sonda também bastante comum é a de duas ou três hastes finas, cuja conexão é permanente com o cabo, operacionalizada através do enterrio da mesma na profundidade desejada no perfil do solo, permitindo monitorar o conteúdo de água na faixa de instalação escolhida neste perfil (ANDRADE et al., 2003). As hastes são constituídas na sua maioria de aço inoxidável, epóxi e plásticos de alta densidade, com aparência física de uma lança curta com laterais metálicas. Os segmentos de medida do conteúdo de água presente no solo, geralmente são formados por componentes eletrônicos encapsulados, cujo comprimento é previamente determinado na fabricação para intervalos definidos que correspondem a cada profundidade que se deseje investigar, com o valor medido dado pela média do conteúdo de água existente ao longo do segmento correspondente (MELO FILHO, 2002).

As sondas do tipo haste segmentada permitem o monitoramento do conteúdo de água simultaneamente em diversas camadas deste perfil; esta capacidade encontra-se fundamentada na diferença do diâmetro e do material que constituem a sonda, que permite obter uma variação na impedância ao longo das mesmas, possibilitando então, as leituras em diferentes profundidades do solo (ANDRADE et al., 2003).

O cabo coaxial que é conectado à sonda, possui uma impedância característica, sendo que seu comprimento pode afetar de forma significativa a qualidade da leitura feita pelo TDR na determinação do conteúdo de água do solo. Geralmente, à medida que se aumenta o tamanho do cabo, o tempo e a amplitude da reflexão da microonda emitida sofrem alterações, tornando-se ainda mais proeminente em solos com elevados teores de sais, onde o erro torna-se ainda mais representativo, de forma que o conteúdo de água no solo é superestimado quando se promove incremento no tamanho do cabo. Calibrações dos valores da umidade gravimétrica para um determinado comprimento do cabo atenuam o problema e garantem precisão das medidas mesmo com cabos longos – desde que o solo não seja extremamente salino, bem como a utilização de cabos especiais com baixa atenuação (LEITE, 2003).

2.3.2 - Curvas de calibração

Geralmente os aparelhos de TDR já trazem um coeficiente de calibração embutido no próprio sistema operacional, pré-determinado em laboratórios para solos típicos, que levam em conta os componentes do próprio solo e suas respectivas propriedades dielétricas. Nesta calibração, considera-se que o conteúdo de água no mesmo exerça influencia em aproximadamente 85 % da leitura obtida no TDR; para os componentes sólidos (areia, silte, argila, matéria orgânica, pedras, etc.), a estimativa é de que esta influencia se aproxime de 15 %, negligenciado totalmente a influência do ar (COELHO et al., 2001).

Silva (1998), duvidando das informações dos fabricantes, decidiu avaliar os resultados fornecidos pelo TDR da marca TRASE SYSTEM I na determinação do conteúdo de água de um Latossolo Roxo-Distrófico originado da região de Lavras no Estado de Minas Gerais, concluindo que, tanto as leituras obtidas pelo TDR, como os cálculos realizados a partir da equação de Topp et al. (1980) não refletiram a real quantidade de água existente no solo. Já Otto e Alcaíde (2001), afirmam ser a precisão assegurada pelos fabricantes suficiente para sugerir o uso do TDR sem necessidade de calibração para diferentes solos, com alguns chegando a enfatizar que o tipo de solo e/ou sais solúveis não afetam os valores do conteúdo de água determinados pelo TDR.

Trabalhos semelhantes ao de Silva (1998) foram desenvolvidos por Tommaselli e Bacchi (2001), que obtiveram uma curva de calibração para o mesmo equipamento utilizando cinco diferentes tipos de solos da região de Piracicaba – SP; comparando as curvas obtidas com a curva genérica fornecida por TOPP et al. (1980) e a curva fornecida pelo fabricante do aparelho, constataram que ambas não são aplicáveis para determinação do conteúdo de água nos cinco solos estudados e recomendam calibrar o aparelho para cada situação de uso, principalmente quando se deseja rigor na precisão nas medições. Segundo estes autores o problema está no fato de que a maioria dos equipamentos já tem embutida, em seu sistema, a equação gerada por Topp et al. (1980) para solos característicos do território americano. Silva e Gervásio (1999), também utilizando este equipamento na determinação do conteúdo de água em diferentes camadas de um outro latossolo roxo - distrófico, constataram que o instrumento subestima a umidade volumétrica presente no solo.

Para Righes et al. (2003), como todos os demais aparelhos utilizados na determinação do conteúdo de água do solo, o TDR deverá ter a sua acuidade melhorada, sempre que

necessário, através de uma curva de calibração diretamente relacionada com as características do solo da área que se quer estudar, evitando desta forma, possíveis distorções que possam ser provocadas por parâmetros de difícil controle e que estejam intimamente relacionados ao solo. Os resultados poderão ser ajustados através de equações próprias que relacionem os valores obtidos com aqueles determinados em laboratório, de forma que se estabeleça uma relação direta entre a leitura obtida no TDR e a correspondente umidade existente no solo.

2.3.3 - Vantagens e desvantagens da metodologia

De acordo com Rodrigues et al. (2001), o TDR caracteriza-se por apresentar boa precisão, com acuidade superior a 0,1 % do volume de água contido na massa do solo; permitir a realização de múltiplas leituras; não destruir a estrutura física do solo durante as determinações; eliminar qualquer risco de contaminação por radiação ionizante como é o caso da Sonda de Nêutrons e de Raios Gama e permitir ainda ao operador realizar um número infinito de repetições com exigências mínimas no que se refere a calibração, que para muitos tipos de solos chega a ser totalmente dispensável (SILVA e GERVÁSIO, 1999).

Wiens et al. (2001), utilizando um TDR, calibrado a partir da impedância da sonda do equipamento em água destilada, constataram que a técnica aplicada se mostrou adequada para obtenção de medidas de condutividade elétrica em processos dinâmicos, bastante desejáveis em estudos do movimento da solução do solo; desta forma, compararam os resultados da condutividade elétrica em um solo previamente irrigado com água destilada contendo cloreto de sódio (2 dS/m), aferindo as leituras obtidas no TDR através de um condutivímetro padrão.

Por outro lado, considerando que o tempo de trânsito de um pulso eletromagnético é muito pequeno, da ordem de 10^{-9} segundos, a técnica de quantificação necessita ser sofisticada e precisa, exigindo, portanto, equipamento eletrônico complexo e conseqüentemente caro. Além do mais, a presença de íons livres na solução do solo, alto teor de argila e de teores elevados de matéria orgânica no solo podem atenuar e afetar a recepção do sinal que retorna (LEITE, 2003).

A formação de bolsas de ar ao redor das sondas ou dos tubos de acessos pode provocar variações nas leituras; o incremento na densidade do solo pode causar um aumento na constante dielétrica, gerando uma superestimação no valor do conteúdo de água. Por outro lado, a utilização de sondas individuais restringe as medições apenas a uma profundidade no perfil do solo (RIGHES et al., 2003).

2.4 - A cultura da mamona

2.4.1 - Características agro - botânicas

A origem da mamoneira é apontada pela maioria dos pesquisadores como asiática; algumas correntes afirmam que ela também pode ser africana ou americana e, dentre tantas controvérsias quanto à questão, os pesquisadores soviéticos apontam como quatro os principais centros de origem para a cultura: a região iraniana-afegã-soviética; a palestina/oeste - asiática, a China/Índia e a península arábica.

Espécie vegetal oleaginosa, a mamona é cientificamente conhecida como *Ricinus communis L.*, pertencendo a família das *Euforbiáceas* e a subfamília *Crotonoideae* (AZEVEDO et al., 1997), sendo classificada como uma planta monóica, com inflorescência do tipo panicular, comumente denominada de racemo, com as flores femininas dispostas na parte superior e as masculinas surgindo logo abaixo das mesmas na parte inferior da panícula.

Trata-se de uma planta de metabolismo e expressão do sexo complexos, esta última, muito variável, dependendo do ambiente e da carga genética de cada genótipo. Existem tipos femininos estáveis, femininas instáveis, hermafroditas (que é o normal), com flores separadas, somente masculinas, monóicas comuns e outros. É basicamente uma planta de fotoperiodismo de dia longo, porém, se adapta bem em outros regimes de luminosidade, inclusive de dias curtos com duração de 09 a 12 horas, embora que dentro deste limite o crescimento seja reduzido (BELTRÃO et al., 2001).

Um outro fator de extrema importância para o crescimento da cultura diz respeito à altitude, de forma que, áreas abaixo de 300 m induzem a planta a emitir folhas em excesso e ao abortamento de flores; por outro lado, altitudes superiores a 1500 m, com predominância de temperaturas abaixo de 10° C, inviabilizam a produção de pólen e conseqüentemente, de frutos e sementes (CARVALHO, 2005).

No que se refere às cultivares de mamona, existem centenas delas, com portes bastante variados, podendo ser encontradas plantas com altura que variam, dependendo de fatores genéticos e ambientais, de 0,8 a 7,0 m; tem sistema radicular pivotante e raízes fistulosas

ramificadas; o caule, com grande variação de cores, apresenta-se impregnado por cera e com nós bem definidos, sendo suculento e tenro quando novo e lenhoso quando a planta envelhece; o crescimento da haste principal é vertical e sem ramificação até o aparecimento da 1ª inflorescência; suas folhas são simples e grandes, com a largura do limpo variando de 10 a 40 cm e pecíolos longos de 20 a 50 cm de comprimento (BELTRÃO et al., 2001).

Em geral as variedades de mamoneira têm um ciclo vegetativo médio que varia entre 180 a 240 dias. Na Tabela 1, estão relacionadas às características das principais cultivares exploradas na Região Nordeste do Brasil, em regime de sequeiro, sem irrigação complementar ou total, de acordo com a EMBRAPA (2002).

Tabela 1 - Características agronômicas e tecnológicas de algumas cultivares de mamoneira exploradas na Região Nordeste do Brasil - sequeiro.

Cultivar	Rendimento kg/ha	Período entre a emergência da plântula e o 1º racemo (dias)	Teor de óleo na semente (%)
Paraguaçu - BRS 188	1.500	54	47,72
Nordestina - BRS 149	1.500	50	48,90
Sipeal 128	1.300	47	47,47
Baianita	1.150	48	47,49
Pernambucana	1.300	51	47,28

A mamona produz satisfatoriamente tanto em sistemas de cultivo “isolados”, quanto em consórcio com outras culturas; em regiões onde predomina a agricultura familiar o sistema de cultivo em consórcio passa a ser o mais recomendado utilizando-se variedades de porte médio, uma vez que otimiza a utilização da área útil disponível e permite a ocupação de toda mão-de-obra familiar com a realização manual dos tratamentos culturais (AZEVEDO, et al., 1997). Entre os cultivos mais utilizados no consórcio com mamona na região semi-árida brasileira destacam-se feijão, milho, sorgo, algodão, gergelim, amendoim e abóbora.

Apesar de existir uma grande quantidade de cultivares nativas que se multiplicam pelo país afora em terrenos baldios e lixões, fruto do processo natural de polinização proporcionado pelo vento ou por pequenos insetos, estas plantas, pelo elevado índice de

cruzamentos a que já foram submetidas, perderam capacidade produtiva e se caracterizam por apresentar um baixíssimo teor de óleo nas sementes, sendo pouco ou até mesmo impróprios para aproveitamento nos processos de industrialização (FREIRE et al., 2001).

Como método eficaz de prevenção de pragas e doenças e de conservação da produtividade dos solos onde se desenvolvem os cultivos desta espécie, o centro de estudos de oleaginosa da EMBRAPA tem recomendado a realização da rotação de cultura em áreas cultivadas com mamona, utilizando-se principalmente o algodão herbáceo ou mesmo gramíneas (milho) e leguminosas (sorgo, amendoim, feijão), desde que estas espécies já não tenham sido usadas em consórcio anteriores (BELTRÃO et al., 2006).

Apesar de ter ser rústica, a mamoneira, além de ser susceptível ao ataque dos vírus e fungos, também está sensível à ação de vários insetos e ácaros que podem lhe causar danos significativos que se não forem controlados a tempo, chegam a inviabilizar por completo sua capacidade de produção. A principal doença da mamoneira é o mofo cinzento, causado pelo fungo *Amphobotrytis ricini*, que ataca e destrói toda a estrutura floral e de frutificação da planta chegando a reduzir por completo a sua produção (CARVALHO, 2005). No tocante ao ataque de pragas, os ácaros rajados e vermelhos têm ganhado importância; praticamente invisíveis ao olho nu, são habitualmente encontrados na face inferior das folhas formando teias e sugando a seiva da planta, provocando o amarelecimento e bronzeamento destas folhas que são expelidas prematuramente da planta (AZEVEDO et al., 1997).

Uma outra prática importante no manejo das áreas de mamona diz respeito à poda em cultivares de médio e alto porte, objetivando, além da redução dos custos de produção no segundo ciclo, diminuir o porte das plantas facilitando as operações de colheita, estimular a emissão de ramos laterais e o conseqüente aumento de rendimento da cultura (AZEVEDO et al., 1997 e CARTAXO et al., 2004). Estes autores recomendam que o corte no caule das plantas, logo após o término da colheita do primeiro ciclo quando as plantas entram em “repouso” vegetativo, seja realizado entre 30 a 60 cm acima da superfície do solo e no sentido transversal para evitar o acúmulo de água e a possível entrada de patógenos.

2.4.2 - O metabolismo fisiológico da mamona

A etapa fotoquímica da fotossíntese ocorre na presença de luz e se caracteriza pela fotólise da água (com liberação de O_2), produção de ATP (um composto altamente energético) e de um composto redutor (aceptor de elétrons) denominado Nicotinamida adenina dinucleotídeo – fosfato ($NADPH_2$) (SAMPAIO, 1998). Na fotofosforilação acíclica, o processo tem início com a excitação luminosa da clorofila P680 (fotossistema II absorvendo luz com comprimento de onda de 680nm) que libera elétrons para a clorofila P700 (fotossistema I – onde a luz absorvida tem um comprimento de onda de 700 nm), ficando a primeira temporariamente sem elétrons, com a sua reconstituição passando a depender da quebra da molécula de água (fotólise) realizada pela luz. Numa outra etapa, eminentemente química, ocorrem várias reações que não dependem da presença ou ausência de luz, onde os hidrogênios provenientes da água e provisoriamente instalados no $NADPH_2$ reagem com as moléculas de CO_2 e produzem a glicose.

Alguns vegetais (milho, sorgo e muitas outras gramíneas) possuem uma anatomia que lhes permitem fixar CO_2 por duas vias, proporcionando a estas plantas um melhor aproveitamento da radiação solar, com baixíssima fotorrespiração e pouco consumo de água - são as chamadas plantas de metabolismo C_4 (MODESTO E SIQUEIRA, 1981). Da mesma forma, os vegetais classificados como crassuláceas (cactos, abacaxis, etc. – as chamadas plantas CAM) que normalmente são encontrados em ambientes inóspitos, aonde os conteúdos de água no solo chegam a níveis ínfimos, possuem um metabolismo fisiológico especial que lhes permitem fixar CO_2 (ao mesmo tempo em que fazem economia de água através do fechamento dos estômatos durante o dia) utilizando-se de seus ácidos orgânicos (fosfoenolpirúvico) para retê-lo durante este período, liberando-o durante a noite para a produção de glicose.

Por outro lado, diferentemente destes dois grupos de vegetais, as plantas de metabolismo dito C_3 , entre os quais se inclui a mamona, necessitam de condições climáticas amenas e de uma boa disponibilidade de água no solo para que a fixação do CO_2 seja realizada, sempre durante o dia, de forma que os hidrogênios do $NADPH_2$ e a combinação do gás carbônico com a enzima ribulose – difosfato produzam o ácido fosfoglicérico, que por sua vez, ao ser estimulado pelo ATP e pelo próprio $NADPH_2$, transforma-se em triose – fosfato (C_3), o qual, em reações casuais, produz diferentes tipos de açúcares necessários ao desenvolvimento das plantas (SAMPAIO, 1998). Mais do que nos outros grupos, o déficit de

água no solo e conseqüentemente nas folhas da mamona, torna-se fator preponderante para o fechamento dos estômatos independente das condições de luz, CO₂ ou de temperatura (REICHARDT,1979), com conseqüente limitação da taxa fotossintética pela diminuição da hidratação do protoplasma e pela redução das atividades enzimáticas e metabólicas.

As plantas do grupo C₃ apresentam uma eficiência do uso de água de no máximo 03 gramas de CO₂.kg⁻¹H₂O contra 05 gramas do grupo C₄ e até 40 gramas alcançadas pelas CAM. A mamona, por apresentar fotossíntese líquida igual a zero em ambientes cuja concentração de CO₂ esteja abaixo de 100 ppm, normalmente tem taxa de fotossíntese variando de 18 a 20 mg CO₂/dm²/hora quando a atmosfera apresenta-se com 300 ppm de CO₂ (AMORIM NETO et al., 2001); plantas classificadas como C₃, geralmente apresentam taxa fotossintética considerada ótima em torno de 30 mg CO₂/dm²/hora, desta forma, a mamona torna-se ineficiente em relação a culturas classificadas como C₄, cuja taxa fotossintética chegar a atingir 60 mg CO₂/dm²/hora (BELTRÃO et al., 2001).

2.4.3 - Necessidades hídricas da cultura

Planta de clima tropical e subtropical (GRANER e GODOY JÚNIOR, 1967), a mamona tem nos elementos climáticos (precipitação pluvial, temperatura e umidade do ar, associados à altitude) os principais fatores que contribuem para externar o seu potencial genético, em termos de produtividade. A temperatura ideal para crescimento e maturação dessa oleaginosa varia de 20 a 30° C (SILVA, 1981), sendo a ótima em torno de 28° C; entretanto, seu cultivo é possível em temperaturas de até 33° C. A faixa ideal de precipitação para obtenção de produções acima de 1500 /ha varia entre 750 e 1500 mm (equivalente ao intervalo de 7.500 a 15.000 m³ de água por hectare), com um mínimo de 600 a 750 mm durante todo o ciclo da cultura, planejando-se o plantio de forma que a planta receba de 400 a 500 mm até o início da floração (TÁVORA, 1982).

Excesso de água no solo torna prejudicial o desenvolvimento da mamoneira causando danos consideráveis a fisiologia e a produtividade da cultura; Beltrão et al. (2003), em trabalhos com a cultivar BRS 149 - Nordestina, verificaram uma redução de 26 % na área foliar de plantas desta cultivar na fase inicial de crescimento, quando estressadas por excesso de água no solo, com conseqüente redução linear da fotossíntese líquida comparado-se com plantas mantidas no solo em capacidade de campo. Moraes e Severino (2004), submetendo

plantas com 30 dias de semeadas desta mesma cultivar à saturação do solo por 02 dias, constataram a redução no crescimento em altura e diâmetro do caule, bem como no peso das raízes e no desenvolvimento das estruturas produtivas, com as plantas voltando a crescer de forma lenta após a drenagem do excesso de água.

A baixa tolerância da cultura ao excesso de água no solo também foi investigada por Severino et al. (2004 a), que ao submeterem plantas de Nordestina a diferentes períodos de encharcamento do solo (3,4,6,8 e 10 dias), constataram a morte das mesmas quando o solo se manteve encharcado por mais de 04 dias. Aquelas que permaneceram vivas, apresentaram morte da raiz pivotante com posterior surgimento de raízes espessas e superficiais, hipertrofia do colo com conseqüente necrose e destruição do floema, encurvamento de pecíolos e caule.

O crescimento, desenvolvimento e produção da mamona são plenamente satisfeitos mediante um suprimento hídrico diferenciado para suas diferentes fases fenológicas. Pesquisas realizadas pela Empresa Baiana de Desenvolvimento Agropecuário - EBDA e pela EMBRAPA - CNPA, concluíram que, tanto para cultivar BRS 149 - Nordestina quanto para a BRS 188 – Paraguaçu, o potencial de produtividade médio varia de 1.500 kg/ha em condições de sequeiro a 5.000 kg/ha em condições irrigadas (CARVALHO, 2005).

Amorim Neto et al. (2001) atestam ser a mamona resistente ao estresse hídrico uma vez que a cultura apresenta-se produtiva praticamente o ano inteiro na região do Nordeste brasileiro que é caracterizada por apresentar déficit hídrico, onde a capacidade de armazenamento dos solos permanece a maior parte do ano abaixo de sua satisfação plena em função da elevada demanda evapotranspirométrica, que supera substancialmente ao total de chuvas precipitadas.

O fato de ter um sistema radicular robusto e denso que explora camadas profundas do solo, reforça as indicações da mamona como planta tolerante à seca, face a sua capacidade de ir buscar água em profundidades consideráveis, o que também tem contribuído para sua constante inclusão em sistemas que utilizem a rotação de culturas, uma vez que pode favorecer o desempenho de culturas posteriores que necessitem de camadas mais revolvidas do solo (RAMOS et al., 2006).

Segundo Doorenbos e Pruitt (1977), a mamona cultivada em áreas de clima semi-árido ou árido, apresenta ciclo vegetativo de aproximadamente 180 dias, dividido em quatro fases

fenológicas do plantio a colheita dos frutos, sendo elas assim definidas: inicial (0 a 25 dias), de desenvolvimento (26 a 40 dias), intermediária (41 a 65 dias) e final (65 a 115 dias). Segundo ainda estes autores, o coeficiente de cultivo (kc) para a fase intermediária pode variar de 1,05 a 1,20 em função da umidade relativa do ar e da velocidade do vento, tornando-se constante (0,5) na fase final do cultivo.

Curi e Campelo Júnior (2004), na tentativa de quantificar a água exigida pela cultura da mamona em regiões do Estado do Mato Grosso, com a cultivar Íris, cujo ciclo vegetativo chegou aos 110 dias, detectaram sete estádios fenológicos do plantio a colheita desta cultivar, com o coeficiente de cultura (kc), obtido pela razão entre a Evapotranspiração máxima e a Evapotranspiração de referência (ET_m/ET_o), variando de 0,15 a 1,37 (kc médio de 0,72), de forma que, o kc para as fases de maior demanda hídrica (início da fase reprodutiva e floração) apresentaram-se superiores aos citados anteriormente por Doorenbos e Pruitt e recomendados pela FAO (1,05 e 1,20).

Lima et al. (2004) ressaltam a escassez de estudos com relação à eficiência do uso de água pela mamona, de forma que, em avaliações realizadas através dos componentes do balanço de energia, numa região do brejo paraibano por um período de 60 dias (a partir do semeio), encontram valores para evapotranspiração da cultura num total de 88,3 mm, com média de $1,84 \text{ mm d}^{-1}$. Neste sentido, Carvalho (2005) indica que a prática da irrigação, assim como as pesquisas na área são realmente bastante escassas na cultura. Entretanto, produtividades obtidas sob condições de pivô central no Estado da Bahia, têm confirmado o potencial das cultivares BRS 149 e 188 quando manejadas adequadamente, chegando a apresentar rendimentos médios acima dos 5 toneladas por hectare.

Já para Beltrão et al. (2003) a irrigação tem se apresentado como uma prática eficiente no aumento da produtividade da mamona, proporcionado um aumento substancial nos números de racemos e de cápsulas por planta; segundo estes mesmos autores, como o surgimento de cachos novos é paralisado com a seca, a irrigação passa a ter uma grande importância na região semi-árida brasileira.

2.4.4 - A importância econômica da mamona

O Brasil se constituía há algumas décadas no maior produtor mundial de mamona e maior exportador de seu principal produto, o óleo. Na safra de 1974/1975 foram produzidas aproximadamente 573.000 t de bagas de mamona (IBGE, 2000); já em 1997/1998, a produção nacional caiu drasticamente para apenas 14.150 t, o que representou uma redução de 97,5 % (EMBRAPA, 2000), queda esta impulsionada pelos baixos preços pagos pelo mercado aos produtores do sul do País, que tinham em outras culturas rendimentos bem mais atrativos e, na desorganização absoluta, tanto nos sistemas de cultivos, quanto no próprio mercado da região nordeste, que além de preconizarem manejos inadequados / ineficientes, inclusive com a utilização da mesma área para cultivos de diversos ciclos consecutivos, aliava-se aos preços insignificantes e a falta absoluta de crédito e assistência técnica aos produtores (VIEIRA et al., 1997).

No amplo espectro de utilização, merecem destaque a fabricação de tecidos de nylon, o uso na siderurgia como óleo de corte para laminagem, na indústria para acabamento de peles finas, como lubrificante de motores de grande rotação. Na medicina é usado por suas qualidades purgativas. A torta proveniente da extração do óleo é largamente empregada na adubação de culturas comerciais (FREIRE, 2001).

A fórmula molecular do ácido ricinoléico ($C_{17}H_{32}OH.COOH$) apresenta em sua composição um grupo hidroxila (OH), que confere ao óleo propriedade não encontrada nos demais óleos vegetais, a solubilidade em álcool. Um dos mais versáteis da natureza, este óleo tem utilidade só comparável à do petróleo, com a vantagem, porém, de ser um produto renovável e barato, além de manter-se bastante estável nas mais variadas condições de temperatura e pressão (AZEVEDO et al., 1997). Três são os métodos principais utilizados na sua extração, variando de acordo com a destinação final do produto a ser obtido, sendo eles: a prensagem a frio e a quente e o uso de solventes; o óleo obtido da prensagem a frio é classificado como medicinal, caracterizando-se por sua elevada pureza; já na obtenção pela prensagem a quente, o óleo precisa ser submetido a um processo de purificação para retirada de gomas e substâncias corantes recebendo a denominação comercial de Óleo nº. 01; por fim, o óleo obtido através da extração por solventes tem origem nas tortas residuais de prensagem e denomina-se Óleo nº. 03 (CHIERICE e NETO, 2001; FREIRE, 2001).

Estudos têm revelado que o teor de óleo presente nas sementes da mamona é diretamente proporcional a quantidade de calor acumulado pela planta durante todo seu ciclo vegetativo, de forma que, regiões fora dos trópicos onde a incidência de calor é reduzida, ocorre uma conseqüente redução na quantidade e na qualidade do óleo, além do que, baixas temperaturas também favorecem drasticamente esta redução e ainda estimulam o aumento do índice de acetila presentes nas sementes (AMORIM NETO et al. 2001). Por outro lado, o projeto de transformação do óleo da mamona em óleo diesel, utilizado em qualquer motor (tratores e/ou caminhões), sem nenhuma adaptação, trata-se de um dos maiores e mais promissores campos de utilização desta espécie vegetal, uma vez que se tem um combustível renovável, ecologicamente correto, que na sua combustão não emite substâncias poluentes, ao contrário dos combustíveis fósseis que contêm enxofre (PARENTE, 2003). Isto tem provocado uma profunda reestruturação no elo industrial da cadeia produtora, o que tende a elevar consideravelmente a produção da mamona.

Esta geração de excedentes reforça as informações da EMBRAPA, de que o Brasil desponta com potencial para fornecer mais de 60% do biodiesel em substituição ao diesel consumido atualmente no mundo, uma vez que possui extensas áreas zoneadas climaticamente como ótimas para cultivo da mamona. É fato que, o incremento na área plantada com esta espécie vegetal, principalmente na região semi-árida, torna-se um fator decisivo na alavancagem para geração de emprego e renda, portanto, no combate a fome e a miséria nas comunidades rurais nordestinas, pelo baixo custo de produção da cultura em comparação com outros cultivos comerciais, apresentando-se como uma alternativa de relevante importância econômica e social para esta que é uma das regiões mais carentes do Brasil e que já é responsável por 95 % da produção de todo o território brasileiro (IBGE, 2006).

O óleo extraído das sementes de mamona tem um elevado valor estratégico pelo fato de não existir bons substitutos em muitas de suas aplicações e pela sua versatilidade industrial que, com certeza, tem se constituído ainda na base para obtenção de uma diversificada linha de matérias-primas utilizadas na fabricação de plásticos e plastificantes, fibras sintéticas, tintas, esmaltes, coberturas protetoras, resinas e lubrificantes. A partir da ricinoquímica (química do óleo de mamona) pode-se chegar à geração de produtos estratégicos e bem mais sofisticados, como é o caso das próteses humanas e dos produtos utilizados nas indústrias farmacêutica de cosméticos, telecomunicações e aeronáutica (CHIERICE e NETO, 2001).

Ao contrário de outras oleaginosas como a soja, girassol e o amendoim, a mamona não se destina à alimentação humana, conseqüentemente, o desenvolvimento de programas específicos para a expansão de sua área cultivada não traria impactos tanto para a cadeia produtiva quanto para o mercado de alimentos. Pires et al. (2004), buscando determinar os custos de produção do biodiesel a partir do óleo de mamona, sob diferentes cenários de produção e avaliando a viabilidade econômica de implantação de unidades produtoras deste biodiesel, verificaram que o preço estimado deste óleo está próximo ao preço do diesel praticado no mercado de Itabuna, município localizado no estado da Bahia, maior produtor nacional da mamona, além de concluírem preliminarmente para indicadores que apontam viabilidade econômica na instalação de mini-usinas.

Por outro lado, o segundo principal produto da mamona, a torta originada da prensagem/esmagamento das sementes para retirada do óleo, é bastante utilizada como fertilizante, constituindo-se num adubo orgânico rico em nitrogênio, que ao ser incorporado ao solo tem funcionado como um excelente melhorador de suas propriedades físico-químicas e biológicas, principalmente pela riqueza dos macronutrientes primários presentes na sua constituição (FREIRE, 2001). Para cada tonelada de semente de mamona é gerada cerca de meia tonelada de torta celulósica.

A torta de mamona se mineraliza rapidamente, cerca de seis vezes mais rápido que esterco bovino e quatorze vezes mais rápido que o bagaço de cana, disponibilizando, através da nitrificação, de 75 e 100 % do nitrogênio presente na sua constituição em período médio de três meses (SEVERINO et al. 2004 b).

Uma outra utilização da torta de mamona que tem crescido consideravelmente diz respeito ao seu emprego na redução da população de nematóides presentes no solo, principalmente devido às restrições impostas ao brometo de metila e outros nematicidas, a maioria organofosforados, pelos riscos que representam ao homem e ao meio ambiente. Dutra et al. (2004) utilizando uma dose de 1000 kg/ha da torta de mamona, obtiveram sucesso no controle do nematóide *Meloidogyne exigua* em cafeeiros da região sul de Minas Gerais e atribuíram o fato a ação do complexo tóxico ricina-ricinina presente na torta.

Por apresentar um elevado poder calorífico, em torno de 4.500 kcal kg⁻¹, a torta de mamona também tem se tornado uma promissora fonte alternativa de energia para fornos e caldeiras industriais, quando comparado por exemplo com bagaço de cana de açúcar (2.300

kcal kg⁻¹), casca de coco (3.500 kcal kg⁻¹), lenha (2.700 kcal kg⁻¹), serragem de madeira (2.400 kcal kg⁻¹), estando sua utilização neste sentido em fase inicial de avaliação (DRUMMOND et al., 2006).

Como ração animal, a torta da mamona só pode ser utilizada depois de desintoxicada, uma vez que a presença da rícina a torna extremamente venenosa. Apesar de agregar maior valor ao produto, o processo de desintoxicação é bastante complexo e dependente de tecnologia específica para que seja realizado em escala industrial e que ainda não está disponível. Desta forma, as usinas de produção de biodiesel têm preferido destiná-la para o mercado de fertilizante (BELTRAO et al., 2003).

A “Plataforma da Mamona”, programa lançado pelo Governo brasileiro em 2003, apresenta como objetivo maior o impulsionamento dos mecanismos agro-tecnológico do setor produtivo, especialmente nas áreas rurais, gerando assim oportunidades para uso tanto intensivo quanto extensivo da biomassa energética do Brasil, além de fortalecer as ações do governo a nível regional, priorizando o largo cultivo da mamona (*Ricinus Communis L.*) nas áreas zoneadas para esta cultura no semi-árido brasileiro (PARENTE, 2003).

O programa da mamona estabeleceu como uma de suas metas a geração de trabalho ocupando um trabalhador rural a cada 02 hectares cultivados durante 250 dias ao ano e reduzindo a ociosidade do parque industrial de beneficiamento desta oleaginosa no Nordeste, proporcionando a região semi-árida uma perspectiva de sustentabilidade com conseqüente melhoria da qualidade de vida de sua população através de políticas públicas de assistência a agricultura familiar (ALMEIDA et al., 2004).

Segundo Lima (apud ALMEIDA et al., 2004), para alcançar as metas traçadas o Governo terá que investir recursos públicos e privados na produção da mamona em todo o país, principalmente na expectativa de que a região semi-árida brasileira seja responsável pela produção de pelo menos 50 % do montante de biodiesel a ser consumido. Estes mesmos autores, em pesquisas realizadas no Estado da Bahia, maior produtor nacional da mamona, indicam que foram plantados 148,3 mil ha de mamona na safra 2003/2004, o que resulta num déficit em área de no mínimo 55%, para atender exclusivamente as expectativas do PROBIODIESEL, desconsiderando os outros mercados do óleo de mamona. Esta tendência é confirmada por Freitas (2004), que ao analisar a questão da mamona a nível nacional, concluiu que para suprir o volume de óleo necessário para cobrir toda demanda de biodiesel

no País, exclusivamente à base de óleo de mamona, a ricinocultura deveria ocupar em 2004 pelo menos 570 mil hectares, entretanto, na safra deste mesmo ano a área ocupada não ultrapassou 161,1 mil hectares.

Kouri et al. (2004) verificaram que as taxas anuais de crescimento da área colhida, produção e rendimento médio da cultura da mamona no Brasil nos últimos 30 anos foram negativas (- 5,77 %, - 6,82 % e - 1,11 %) e que, para que o quadro apresentado seja definitivamente mudado, torna-se essencial o estabelecimento de relações entre os produtores da matéria-prima e os empresários da indústria de esmagamento, respeitando-se as necessidades de continuação de existência de cada um deles. Segundo estes mesmos autores, também é de fundamental importância o comprometimento governamental (nas três esferas: federal, estadual e municipal) através de políticas agrícolas e industriais adequadas, dada a importância social de todo o agronegócio da mamona, principalmente na região semi-árida brasileira.

No zoneamento agrícola realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária através do Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, estimou-se a existência de aproximadamente 5.000.000 ha espalhados em 600 municípios do Nordeste brasileiro que estão disponíveis e aptos para o plantio de mamona (BELTRÃO et al., 2006). Particularmente no Estado da Paraíba, dos 223 municípios espalhados nas mais variadas regiões, Araújo et al. (2000), levando em consideração a média pluviométrica, em períodos chuvosos, superior a 500 mm e áreas de altitudes variando entre 300 e 1500 m, foram identificados 46 municípios propícios ao cultivo econômico da mamona, indicando ainda como as melhores épocas para o plantio o período que vai de Janeiro a Maio de cada ano.

Para Cartaxo et al. (2004) as maiores vantagens de utilização da mamoneira no semi-árido brasileiro encontram-se nos baixos custos de produção e no elevado potencial de produção de óleo de excelente qualidade para o uso na ricinoquímica e na bioenergética. Por outro lado, segundo estes mesmos autores, os maiores gargalos a serem superados estão diretamente relacionados a comercialização das bagas que ainda ocorre através de uma cadeia de intermediários, resultando geralmente em preços baixos pagos aos agricultores; um outro agravante está na irrelevante agregação de valor ao óleo produzido, pois dentro da cadeia que exporta matéria-prima e importa manufaturados, quando se comparar a venda do ácido graxo ricinoléico com a venda do óleo bruto a diferença de preço chega a ser de 2,1 vezes menor, chegando a ser 4,2 vezes menor quando compara-se o valor pago pelo ácido sebáico.

No que se refere apenas a demanda do Nordeste pelo biodiesel, estudos do Centro Brasileiro de Infra-estrutura (CBIE) apontam para um consumo estimado de 300 milhões de litros por ano, o que projeta uma necessidade de crescimento na área plantada na região de 180 % até o final do ano de 2008 (GLOBO RURAL, 2005).

Um grande desafio ainda a ser superado na região semi-árida brasileira produtora de mamona é o baixo rendimento médio alcançados nos cultivos, apesar dos incrementos ocorridos nos últimos anos. Kouri e Santos (2006) constataram que o estado da Bahia, maior produtor nacional desta espécie vegetal, entre os anos de 2003 e 2005 obteve-se rendimentos médios de 695,3 kg/ha, contra 1580,3 kg/ha alcançados no estado de São Paulo para o mesmo período.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Localização da área experimental

O experimento foi conduzido num ambiente protegido (casa de vegetação), com uma área total de 300 m², pé direito de 3 m, altura no vão central de 4 m, coberto com plástico transparente de 0,5 mm de espessura, pertencente à Unidade Administrativa de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, Campus I, Campina Grande – PB, localizada pelas coordenadas geográficas 7° 15' 18'' S e 35° 52' 28'' W, altitude de 550 m e com média anual de precipitação em torno de 803 mm, no período de setembro de 2003 a Agosto 2004.

3.2 - Caracterização do solo utilizado na aferição e calibração do TDR

O solo utilizado para o enchimento de uma trincheira aberta na casa de vegetação originou-se de uma camada superficial (0 - 60 cm) de um ARGISSOLO de textura argilosa com A moderado, proveniente do Município de Lagoa Seca - PB, cujas características físicas constam no Quadro 01 conforme análises realizadas pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da UFCG, seguindo a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997b).

Quadro 01 – Características físicas do solo utilizado no ensaio

Areia (%)	43,53
Silte (%)	15,56
Argila (%)	40,91
Classificação textural	Argilo arenoso
Densidade global	1,48
Densidade das partículas	2,67
Porosidade Total (%)	44,57

3.2.1 - Textura

Utilizou-se o Método do Densímetro de Bouyoucos (1951), a partir do qual determinou-se as percentagens de areia, silte e argila do solo. A classificação textural do solo foi obtida utilizando-se o Triângulo de Classificação Textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

3.2.2 - Densidade global e das partículas – Porosidade.

Para a determinação da densidade global, utilizou-se o método do cilindro (EMBRAPA, 1997b) obtendo-se desta forma amostras de solo o mais próximo possível de sua condição natural. Para isto, introduziu-se completamente no perfil do solo, no sentido vertical, um amostrador do tipo Uhland cujo cilindro apresenta uma capacidade de coleta de solo da ordem de 96 cm³; em seguida, com auxílio de uma espátula, removeu-se cuidadosamente o excesso de solo em ambas as extremidades, colocando-se cilindro e solo no interior de uma cápsula de alumínio. As amostras foram postas a secar em estufa a 105° C; uma vez seco o solo, pesou a cápsula com cilindro e solo, determinando-se o peso do solo seco.

Na determinação da densidade de partículas utilizou-se o método do picnômetro (EMBRAPA, 1997b), caracterizado por apresentar uma melhor precisão e exatidão em relação aos demais métodos disponíveis no laboratório de Irrigação e Salinidade da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da UFCG.

A porosidade total do solo (P_T) foi calculada pela equação de Veihmeyer expressada como $P_T = (1 - d_g / d_p) 100$, onde d_g e d_p são a densidade global e das partículas, respectivamente.

3.2.3 - Curva de retenção de água

A curva de retenção de água para o solo utilizado foi confeccionada a partir de determinações realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da Unidade Administrativa de Engenharia Agrícola da UFCG, através do extrator de Richards, obtendo-se

o conteúdo volumétrico θ ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) com relação às tensões pré-estabelecidas em kpa, para 10; 33; 100; 300; 500; 1000; 1200 e 1500; em seguida, a curva em evidência foi construída e ajustada de acordo com a metodologia proposta por van Genuchten (LIBARDI, 2000). De posse dos parâmetros α (= 0,2132), m (= 0,2364), n (= 2,4273) e dos valores θ_s (= 0,385) e θ_r (= 0,118) gerados pelo modelo, foi possível determinar o conteúdo de água do solo (θ em volume) em função do potencial matricial ($|\Psi_m|$) com base com a equação descrita a seguir.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \cdot |\Psi_m|)^n\right]^m} \quad (\text{eq. 4})$$

Em que:

θ_r = umidade volumétrica residual;

θ_s = umidade de saturação;

α ; m ; n = constantes empíricas;

Ψ_m = potencial mátrico.

3.3 - Calibração do TDR

Adotou-se uma metodologia similar aquela do perfil instantâneo, na determinação da condutividade capilar (MELO FILHO, 2002). Uma trincheira com dimensões de 0,8 x 0,8 x 1,0 m foi aberta no interior da casa de vegetação, e, em seguida, preenchida com o solo previamente peneirado através de uma peneira de 2,0 mm de forma a garantir homogeneidade ao longo de todo o perfil estudado, com o solo sendo distribuído camada por camada. Em seguida foram instalados os equipamentos destinados ao monitoramento do conteúdo de água no solo através dos seguintes métodos:

- a) Tensiômetros;
- b) Sonda TDR Modelo TRIME – FM - Versão P2;
- c) Sonda TDR Modelo HH2 - Delta T;
- d) Gravimetricamente.

3.3.1 - Descrição dos equipamentos

a) TENSIOMETROS

Os tensiômetros utilizados possuíam manômetros de Hg e foram fabricados pela SOIL MOISTURE EQUIP. CORP¹, empresa americana com sede em Santa Bárbara – Califórnia, sendo instalados a 10, 20 e 50 cm de profundidade, distanciados 10 cm das hastes do TDR.

b) TDR TRIME – FM – Versão P2

Equipamento fabricado pela empresa alemã IMKO – Micromodultechnik – GMBH,² calibrado para solos minerais a partir da equação universal de Topp et al. (1980), determinando o conteúdo de água do solo em função da sua constante dielétrica. A versão P2 aqui utilizada, com dimensões de 21 x 09 x 06 cm e pesando 875 g, permite a realização de leituras instantâneas do conteúdo de água do solo a cada 10 segundos, apresentando acuidade de 0,3 % em volume. Sua conexão com a sonda de 02 hastes paralelas, com comprimento de 10 cm, ocorre através de um cabo coaxial e apresenta autonomia para realização de até 300 leituras, com o sistema sendo re-alimentado através de uma fonte de alimentação elétrica que recarrega a bateria embutida no próprio aparelho.

As hastes paralelas do TDR – TRIME FM foram colocadas nos intervalos de profundidades: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm.

c) TDR HH2 – DELTA T

Fabricado pela Delta-T Devices Ltda³, com sede em Cambridge na Inglaterra, traz embutido em seu sistema eletrônico uma calibração para solos tanto minerais quanto orgânicos, porém com um sistema de entrada de dados, a partir do teclado e do visor digital existentes no corpo do próprio aparelho, que permite introduzir informações inerentes ao solo que se está investigando. O modelo utilizado neste experimento foi o HH2, com dimensões de 1,5 x 8,0 x 4,0 cm, peso de 450 g, com um sensor capaz de realizar leituras instantâneas do

¹ End: 801 S. Kellogg Ave. Goleta, CA 93117 Phone: 805.964.3525 Home: www.soilmoisture.com

² End: Im Stöck 2 D-76275 Ettlingen Germany Phone: +49-(0)7243-5921 – 0; E-mail: info@imko.de

³ End: 128, Low Road Burwell CAMBRIDGE CB5 0EJ UK; Telephone: 44 1638 742922 E-mail: sales@delta-t.co.uk

conteúdo de água do solo em aproximadamente 05 segundos com acuidade de 0,1 % em volume. Utiliza uma sonda do tipo haste, modelo PR1 / 6, conectada ao monitor através de um cabo coaxial, que permite o monitoramento do conteúdo de água em 06 profundidades diferentes: 10, 20, 30, 40, 60 e 100 cm ao mesmo tempo; a instalação destas sondas no solo se deu através de tubos de acesso de fibra de vidro, previamente instalados no perfil do solo a ser monitorado. Todo o sistema é alimentado por uma bateria alcalina de 9 v com autonomia para 4500 leituras quando operado com este tipo de sonda.

As leituras com a sonda segmentada PR 1/6 do HH2 da Delta T foram realizadas nas mesmas profundidades onde foram instaladas as hastes paralelas do TRIME – FM.

d) GRAVIMETRIA

Foi utilizada a seguinte instrumentação na coleta, transporte e processamento das amostras:

- Trado com amostrador tipo Uhland para coleta das amostras nas diversas profundidades no interior da trincheira;
- Latas de alumínio, numeradas nas tampas e respectivos recipientes, utilizadas para transporte e secagem das amostras;
- Estufa de fabricação nacional da marca FANEM, regulada para 105° C para secagem das amostras;
- Dessecador de vidro da marca PYREX, contendo uma placa de porcelana vazada sobre pedras de sílica gel, de forma a permitir a absorção da umidade do meio ambiente antes da pesagem;
- Balança de precisão da marca GEHAKA, modelo BG 2000, com capacidade máxima de pesagem de 2,0 kg, mínima de 0,01g e precisão de dois decimais.

As amostras foram extraídas com o amostrador Uhland nas profundidades de 05, 15, 25 e 35 cm, sendo que, em virtude da destruição causada ao perfil pela retirada das mesmas, as coletas por profundidade foram realizadas em épocas diferentes, de forma a preservar o máximo possível a camada de solo próxima as sondas dos TDR's.

Após a instalação destes equipamentos o perfil foi saturado, suspendendo-se o fornecimento de água quando o potencial matricial do solo no tensiômetro instalado a 50 cm atingiu o valor de zero, indicando que o ponto de saturação nesta profundidade foi alcançado.

Posteriormente, passou-se a realizar leituras diárias sempre às 16:00 horas, com o intuito de minimizar possíveis erros pelo efeito da variação da temperatura, determinando-se o conteúdo de água presente em cada camada do solo utilizando-se os dois TDR's, a bateria de tensiômetros e as amostras de solo coletadas para determinação pelo método gravimétrico.

As leituras foram suspensas no momento em que o tensiômetro localizado a 10 cm de profundidade deixou de funcionar, com o rompimento da coluna de água no interior do tubo de vidro, 60 dias após a saturação do perfil. A média dos resultados obtidos com os tensiômetros instalados nas duas primeiras profundidades (10 e 20 cm) foram transformados em potenciais mátricos e posteriormente em conteúdos de água ($m^3 \cdot m^{-3}$), utilizando-se a curva de retenção de água do solo e uma planilha informatizada do programa Excel, cujos valores encontrados ao longo do ensaio estão no anexo deste trabalho. Em seguida, multiplicou-se estes dados por 100 para obtenção dos valores em percentagem de volume com base na fórmula descrita em Guerra (2000) onde o conteúdo de água volumétrico do solo é dado por: $Uv = \text{Volume da água (Va)} / \text{Volume do solo (Vt)} \times 100$. Este mesmo princípio foi utilizado para os resultados obtidos com as amostras de solo na gravimetria.

Por fim, tanto os resultados obtidos a partir dos tensiômetros, como da gravimetria e das sondas dos TDR's (emitidos % de volume), foram armazenados em um bancos de dados para em seguida serem plotados de forma simultânea, também em planilhas do Excel, possibilitando assim a comparação dos mesmos para cada um dos métodos utilizados, bem como a confecção de curvas e respectivas equações de regressão.

3.4 - Implantação do experimento com a cultura da mamona

Considerando que a mamoneira se desenvolve e produz bem em qualquer tipo de solo, exceto naqueles de textura argilosa e drenagem deficiente, preferindo solo com pH entre 6 e 6,8 (AZEVEDO et al., 1997), utilizou-se como substrato para a implantação da mamona uma camada de 0 a 60 cm de um solo franco argilo arenoso de baixo teor de matéria orgânica, proveniente do município de Campina Grande – PB, cuja características físico - hídricas e químicas podem ser observadas na Tabela 2. Como o solo era ácido (pH 5,63), foi corrigido com carbonato de cálcio ($0,62 \text{ g kg}^{-1}$ de solo), de acordo com a metodologia proposta por Ribeiro et al.(1999), ficando incubado por um período necessário para sua neutralização. Considerando uma profundidade de 0,2 m e uma $Dg = 1$ para o solo, este valor corresponde a aproximadamente 1,24 t de calcário por hectare.

Tabela 2 - Características físico-hídricas e químicas do solo utilizado no experimento de mamona após a correção da acidez.

Características físico-hídricas		Valor
Granulometria (%)	Areia	70,22
	Silte	9,57
	Argila	20,21
Classificação textural		Franco Argilo Arenoso
Densidade global		01,48
Densidade das partículas		02,64
Porosidade Total (%)		43,93
Capacidade de campo (%)		14,73
Ponto de Murcha (%)		03,94
Água disponível (%)		10,79
Características químicas		Valor
Complexo sorativo $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	Cálcio	1,99
	Magnésio	1,36
	Sódio	0,249
	Potássio	0,038
	Hidrogênio	1,18
	Alumínio	0,20
	Soma de bases (S)	3,64
	Capacidade de troca de cátions (CTC)	5,02
Saturação de bases (V) %		72,54
Matéria orgânica, g kg^{-1}		0,568
Fósforo, mg dm^{-3}		0,076
pH em água (1:2,5)		6,56
pH do extrato de saturação		6,40
Condutividade elétrica do extrato de saturação, dS m^{-1}		0,10
Classificação em relação à salinidade		Não salino

Após este período o solo foi adubado com 0,94 g kg⁻¹ de solo de superfosfato simples e de 0,14 g kg⁻¹ de solo de cloreto de potássio, adubos estes aplicados e homogeneizados nos 125 kg de solo contidos em cada recipiente, conforme recomendações de Novais et al. (1991) para adubações de vasos em ambientes protegidos. Levando-se em consideração as mesmas características utilizadas anteriormente (profundidade de 0,2 m e Dg = 1 para o solo), estas dosagens representam, respectivamente, 376 kg/ha de P₂O₅ e 168 kg/ha de K₂O.

3.4.1 - Cultivares de mamona testadas

- BRS 149 – Nordestina

As plantas da cultivar BRS 149 (Nordestina) têm altura média de 1,90m, caule de coloração verde com cerosidade, racemo cônico, frutos semi-deiscentes e sementes de coloração preta, com período entre a emergência da plântula e a floração do primeiro racemo de 50 dias em média; peso médio de 100 sementes de 68g; teor de óleo na semente de 48,90 % e com produtividade média, também em sementes, de 1.500kg/ha nas condições semi-áridas do Nordeste, em anos normais quanto à precipitação pluvial. O ciclo, a partir da emergência das plântulas à última colheita, é de 250 dias, em média (EMBRAPA, 2002). A cultivar Nordestina neste ensaio foi identificada com N.

- BRS 188 - Paraguaçu

As plantas da cultivar BRS 188 (Paraguaçu) têm altura média de 1,60m, caule de coloração roxa com cerosidade, racemo oval, frutos semi-deiscentes e sementes de coloração preta. O período entre a emergência da plântula e a floração do primeiro racemo de 54 dias em média; peso médio de 100 sementes de 71g; teor médio de óleo na semente de 47,72 % e com produtividade média e ciclo vegetativo similares a Nordestina (EMBRAPA, 2002). A cultivar Paraguaçu neste ensaio foi identificada com P.

3.4.2 - Níveis de água do solo estudados

As lâminas de irrigação aplicadas à mamona foram baseadas no conteúdo de água do solo disponível para as plantas, sendo assim identificadas:

Lâmina 1 (L1): 40 % de água disponível

Lâmina 2 (L2): 60 % de água disponível

Lâmina 3 (L3): 80 % de água disponível

Lâmina 4 (L4): 100 % de água disponível

O cálculo da água utilizável pelas plantas de cada tratamento, o qual serviu de base para determinação das lâminas a serem aplicadas em cada irrigação, baseou-se na equação a seguir, proposta por Guerra (2000), onde:

$$AD = ((CC - PMP) / 100) \times D \times y \times Z \quad (\text{eq. 5})$$

Sendo:

AD - água disponível em cm;

CC - umidade à capacidade de campo (base peso seco);

PMP – umidade correspondente ao ponto de murcha permanente (base peso seco);

D – densidade;

y – déficit hídrico estipulado (0 – 1);

Z – profundidade efetiva das raízes de mamona, em cm.

Desta forma, para cada um dos tratamentos pré – estabelecidos, manteve-se na coluna de 60 cm de solo dentro de cada vaso as seguintes lâminas de irrigação:

Lâmina 1 (40 % AD): 38,3 mm ;

Lâmina 2 (60 % AD): 57,5 mm;

Lâmina 3 (80 % AD): 76,6 mm;

Lâmina 4 (100 % AD): 95,8 mm.

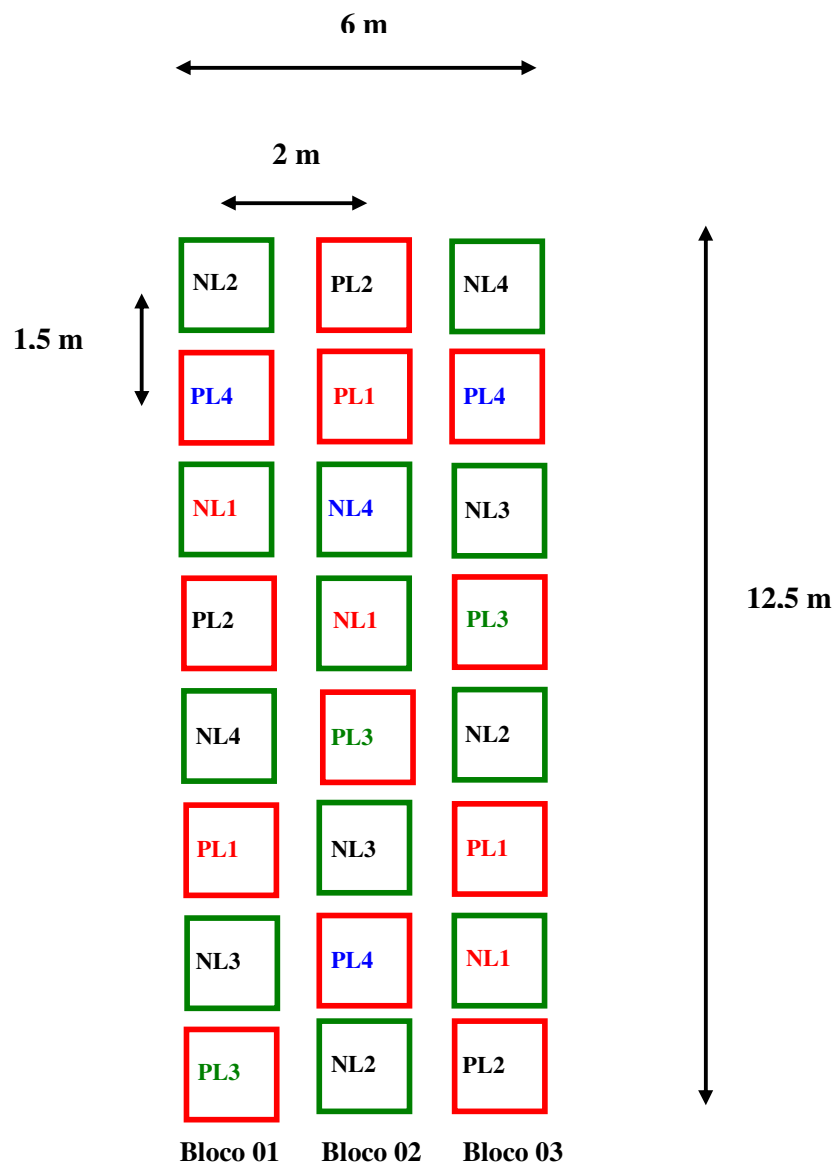
3.4.3 - Análise estatística dos dados

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, no esquema fatorial 2 x 4, constituído por duas cultivares de mamona e quatro níveis de umidade do solo com três repetições. Os dados foram analisados estatisticamente utilizando-se o programa estatístico SISVAR – ESAL- Lavras – MG, através do qual foi feita a análise de variância (ANAVA) aplicando-se o teste de Tukey a 5 % de probabilidade para a comparação das médias dos tratamentos e análise regressão para o fator quantitativo, de acordo com Ferreira (2000).

A combinação entre os fatores, cultivar (N e P) e os níveis de umidade do solo (L), originou 08 tratamentos, sendo eles: NL1; NL2; NL3; NL4; PL1; PL2; PL3 e PL4.

Como o experimento tinha três repetições por tratamento, o estudo totalizou vinte e quatro parcelas, cada uma constituída de um vaso plástico medindo 50 cm de diâmetro e 70 cm de altura, contendo 125 kg de solo. O espaçamento entre parcelas foi de 2 metros entre blocos e de 1,5 metros entre plantas dentro da linha do bloco, onde se cultivou uma planta de mamona até os 180 DAS.

A Figura 1 apresenta um croqui da área experimental, com disposição e medidas das parcelas – tratamentos.



N – Variedade Nordestina

P – Variedade Paraguaçu

L1 – 40 % de água disponível.

L2 – 60 % de água disponível.

L3 – 80 % de água disponível.

L4 – 100 % de água disponível.

Figura 1 - Croqui da área experimental com a disposição das **parcelas e respectivos tratamentos**.

3.4.4 - Instalação e condução do experimento

Após enchimento dos recipientes com o substrato, o solo foi previamente irrigado até atingir a capacidade de campo (CC), de forma a garantir a efetivação do processo de germinação, realizando-se em seguida a semeadura em 07 de Fevereiro de 2004, colocando-se sete sementes equidistantes por vaso, a uma profundidade de 2,0 cm. Os micronutrientes Boro (0,58g/vaso), Zinco (2,19g/vaso) e Cobre (0,65g/vaso) foram aplicados todos em dose única, antes do semeio, também via água de irrigação.

As irrigações subseqüentes foram realizadas quando a umidade atingia níveis abaixo dos pré - determinados, correspondentes aos tratamentos estudados (100, 80, 60 e 40 % da água disponível), por meio de duas medições diárias do conteúdo de água do solo (volume em %) determinado pelo uso do TDR, repondo-se a lâmina diariamente em duas etapas, às 08 e 16 horas, utilizando-se água de abastecimento fornecida pela Companhia de Água do Estado. As leituras do TDR para cada profundidade, eram lançadas numa planilha de computador (Excel) que contabilizava o conteúdo de água em todas as camadas de acordo com o croqui descrito na Figura 02, realizando um balanço da umidade existente ao longo do perfil do solo, determinando assim o volume de água a ser aplicado de acordo com os limites de cada tratamento. O volume de água da irrigação foi medido através de uma proveta graduada, irrigando-se os vasos manualmente com auxílio de regadores.

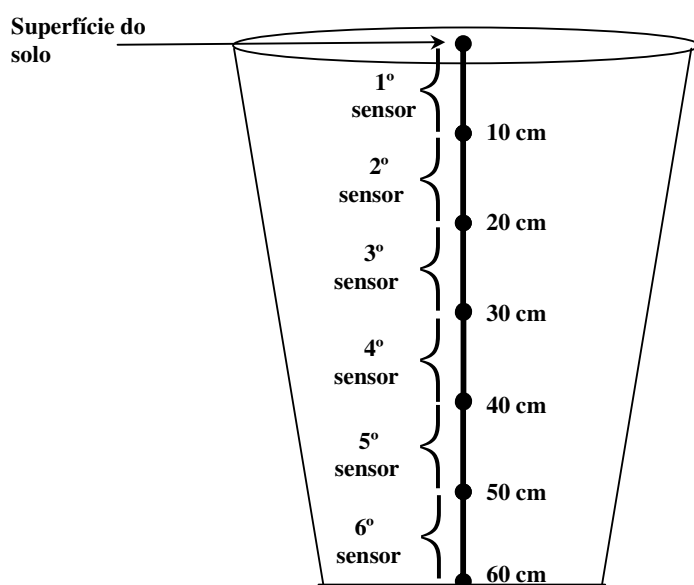


Figura 2 - Layout das profundidades monitoradas pela sonda segmentada PR1/6 no recipiente.

Após a germinação, quando as plantas atingiram de 10 a 12 cm de altura, por volta dos vinte e quatro dias após a semeadura (24 DAS), foi realizado o primeiro desbaste deixando-se apenas as duas plantas mais vigorosas por vaso, efetuando-se um segundo desbaste aos 40 DAS, quando se eliminou mais uma planta, permanecendo uma planta por vaso até os 180 DAS.

As adubações nitrogenadas de cobertura foram realizadas em intervalos de 15 dias, aplicando-se o adubo diluído via água de irrigação, utilizando-se como fontes o Nitrato de Cálcio (32,5 g aplicadas por vaso em 27/02 e 16/03), Sulfato de Amônia (25 g aplicados por vaso em 27/03, 12 e 27/04), Nitrato de Potássio (18,5 g aplicados por vaso em 12 e 27/05 e 11 e 26/06) e 50 % no final do cultivo (11 e 27/07) da dose anteriormente aplicada de Sulfato de Amônia, totalizando 11 aplicações ao longo de todo o ciclo. Aplicou-se ainda, via área foliar, o fertilizante Albatrós cuja composição traz a fórmula 21-21-21 de NPK + 0,01 % de B + 0,002 % de Cu + 0,05 % de Fe + 0,01% de Mn + 0,001% de Mo e 0,0025 de Zn) na dose de 1,8 g/litro de água, em 06 aplicações distribuídas em todo o ciclo da cultura (16/04, 05 e 19/05, 14/06, 01 e 19/07).

De forma direcionada exclusivamente para a parte apical das plantas, aplicou-se uma solução de Zn + Cu na concentração de 1,0 a 4,0 mM, com diluição de 2,0 ml / litro de água, com intuito de corrigir possíveis deficiências crônicas destes micronutrientes que ocasionavam sérias deformações e atrofia nas folhas mais jovens; também foram realizadas seis aplicações deste produto sempre no aparecimento dos sintomas (04 e 23/03, 08/04, 27/05, 23/06 e 10/07).

O manejo fitossanitário foi todo realizado de forma curativa, ou seja, sempre no aparecimento de sintomas que evidenciassem a presença de pragas ou doenças provocando danos efetivos e consideráveis que colocassem em risco a continuidade dos trabalhos de pesquisa, sendo assim realizadas 16 aplicações ao longo dos 180 dias de cultivo, com a primeira ocorrendo em 25 de Fevereiro e a última em 03 de Julho. Neste período foram utilizados os seguintes agrotóxicos: inseticidas/acaricidas – Trigard (0,15 g / litro de água); Carbosulfan (15 ml / litro de água) e Marchal (3 ml / litro de água) e os fungicidas: Benlate (0,6 g / litro de água), Ridomil Gold (3 g / litro de água) e Agrinose (4 g / litro de água).

As médias das temperaturas máximas e mínimas registradas durante os meses de condução do experimento encontram-se em anexo, sendo que a temperatura máxima

registrada no decorrer dos trabalhos chegou a 38,5 ° C (02 de Abril), com a mínima registrada ficando em 15° C (12 de Julho). Os primeiros frutos foram colhidos aos 81 DAS, com a colheita estendendo-se até os 180 DAS.

3.4.5 - Variáveis analisadas nas cultivares de mamona

3.4.5.1 - Germinação e índice de velocidade de emergência (IVE)

Diariamente, realizou-se a avaliação da germinação mediante contagem do número de sementes germinadas, tendo como critério à emergência do epicótilo na superfície do solo, avaliando-se os números de dias necessários para as sementes germinarem (tempo de germinação) e o número de sementes germinadas em relação ao número de sementes plantadas (% de germinação) adotando um tempo máximo de 15 dias para obtenção destes registros.

Realizou-se ainda o cálculo do índice de velocidade de emergência (IVE) empregando-se a equação a seguir, onde os valores de Σ , correspondem ao número de plantas germinadas, na primeira (Σ_1), segunda (Σ_2), e nas contagens subseqüentes até a última (Σ_n), enquanto os valores de N, correspondem ao número de dias da sementeira até a primeira, a segunda e última contagem, de acordo com a metodologia contida em Vieira e Carvalho (1994).

$$\text{IVE (plântulas dia}^{-1}\text{)} = \frac{\Sigma_1}{N_1} + \frac{\Sigma_2}{N_2} + \dots + \frac{\Sigma_n}{N_n} \quad (\text{eq. 6})$$

3.4.5.2 - Altura de planta e taxa de crescimento absoluto da altura da planta

A altura das plantas (AP) foi determinada através de uma trena, medindo esta do colo da planta a base da folha mais jovem, nos intervalos de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 e 180 dias após a sementeira (DAS). A taxa de crescimento absoluto da altura da planta (TCAP) foi calculada para os mesmos tempos de acordo com a seguinte equação:

$$\text{TCAP} = \frac{A_2 - A_1}{t_2 - t_1} \text{ (cm/dia)} \quad (\text{eq. 7})$$

em que:

A_1 – altura da planta no tempo t_1 (cm)

A_2 – altura da planta no tempo t_2 (cm)

3.4.5.3 - Diâmetro do caule

A medição do diâmetro do caule (DC) foi realizada com um paquímetro, cujas leituras foram efetuadas na região do colo de cada planta, nos mesmos períodos estabelecidos para a mensuração da altura das plantas (AP).

3.4.5.4 - Número de folhas e Área foliar

Na contagem das folhas (NF) e na medição da área foliar (AF) foram consideradas aquelas que apresentavam comprimento mínimo de 3,0 cm, com leituras sendo realizadas também em intervalos de 20 em 20 dias até os 180 dias após a semeadura (DAS).

A área foliar, uma das mais importantes variáveis, por estar diretamente relacionada com os processos fisiológicos das plantas, foi calculada de acordo com o método de Wendt (1967), cuja fórmula utilizada encontra descrita a seguir:

$$\text{LOG (Y)} = - 0,346 + [2,152 * \text{LOG (X)}] \quad (\text{eq. 8})$$

Onde:

Y = area foliar (cm²)

X = comprimento da nervura central da folha (cm).

3.4.5.5 - Dias para emissão da 1ª inflorescência (DEI), altura de emissão da 1ª inflorescência (AEI) e número total de inflorescências emitidas (NIE).

Foram consideradas, abertas e computadas, todas as inflorescências que exteriorizaram-se totalmente, medindo-se a altura desta do colo da planta até a base da inflorescência.

3.4.5.6 - Fitomassa (FT)

Toda a matéria verde produzida durante os 180 dias do experimento foi levada para uma estufa de circulação de ar forçado a uma temperatura de 60 ± 1 °C até atingir peso constante, sendo a matéria seca posteriormente pesada em balança de precisão. Nesta variável foram considerados os pesos secos de todas as folhas produzidas ao longo do ciclo da cultura, de toda parte área (folhas, caule, ramos, inflorescências e cachos) e de todo sistema radicular das plantas coletadas no final do ensaio aos 180 DAS.

3.4.5.7 - Relação raiz / parte área

Calculou-se ainda a relação raiz/parte aérea (R/PA) aos 180 DAS pelo quociente entre os valores de fitomassa das raízes e da parte aérea da planta, segundo a equação seguinte:

$$R/PA = \frac{FR}{FPA} \quad (\text{g g}^{-1}) \quad (\text{eq. 9})$$

onde, FR é a fitomassa das raízes e FPA é a fitomassa da parte aérea, ambas no tempo t.

3.4.5.8 - Consumo de água pela mamona

Foram calculadas diariamente as quantidades de água em volume consumidas pelas plantas, obtidas em função das leituras realizadas através do TDR e processadas a partir de uma planilha eletrônica (Excel) na qual se obtinha o volume necessário de manutenção dos níveis preestabelecidos para os respectivos tratamentos, formando-se um banco de dados dos quantitativos de água a serem repostos diariamente até os 180 dias, bem como o consumo cumulativo para todo o período.

3.4.5.9 - Eficiência do uso de água

A eficiência do consumo de água pela mamona foi determinada pela relação entre o peso da fitomassa (FT) e o volume de água consumido em cada tratamento, sendo:

$$\text{Eficiência} = \text{gramas de fitomassa} / \text{litros de água consumidos} (\text{g.l}^{-1}). \quad (\text{eq. 10})$$

3.4.5.10 - Teor de macronutrientes e micronutrientes nas folhas, caule e raízes

A análise da composição mineral foi realizada utilizando-se as folhas, caule e raízes de todos os tratamentos coletados aos 180 DAS, lavando-se previamente o material com água destilada e secando-se, em seguida, em estufa de circulação de ar forçado, à temperatura de 60 °C ($\pm 1^\circ\text{C}$). Esta determinação, tanto na parte aérea quanto na parte subterrânea das plantas, só foi possível no final do experimento, já que durante o ciclo da cultura não se podia colher amostras de caule e raízes sem a destruição prévia dos tratamentos.

Utilizando-se de metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), analisou-se o teor dos macronutrientes Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) e dos micronutrientes Manganês (Mn), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Sódio (Na), sendo o N determinado por digestão sulfúrica, o P, Ca, Mg, Mn, Cl, Cu, Fe e Zn por espectrofotometria de absorção atômica no extrato ácido perclórico nítrico (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, 1997), e o K e Na determinados por fotometria de chama.

3.4.5.11 - Produção de frutos e sementes

Os primeiros frutos foram colhidos aos 81 DAS, estendendo-se a colheita até os 180, computando-se todo fruto produzido até o último cacho maduro antes do corte das plantas. Após cada coleta ao longo do ciclo produtivo da cultura, os frutos iam sendo colocados em estufa de circulação de ar forçado a 60° C até apresentarem peso constante; posteriormente abertos, procedeu-se a contagem e pesagem em uma balança de precisão das sementes de cada tratamento.

3.4.5.12 - Teor de óleo e proteína nas sementes

O teor de óleo nas sementes foi determinado através da técnica de Ressonância Magnética Nuclear (RMN), utilizando-se um espectrômetro da marca Oxford 4000 de onda contínua para análise quantitativa, com base na emissão de corrente de radio freqüencial de 250mA, para um volume de amostra de 40 cm³ e um tempo de integração de 20 segundos.

De acordo com a metodologia proposta pela Oxford Instruments (1995), o equipamento foi previamente aquecido a fim de estabilizar o sistema, iniciando-se a operacionalização do mesmo com o registro do ano, mês, dia, hora e minutos, de acordo com as instruções apresentadas no display; posteriormente, inseriu-se a amostra do óleo padrão, a qual foi retirada logo em seguida; na etapa seguinte, colocou-se o material a ser analisado, no caso a mamona, cuja referência é o de número 12. Inseriu-se novamente a amostra do óleo padrão, pesando-se em seguida a massa (neste caso farinha), digitando no teclado do equipamento o valor desta massa que passou a ser identificada como 12A. Prosseguindo-se, inseriu-se o tubo com a massa no local indicado no próprio corpo do equipamento, passando-se a responder através da digitação de informações, a cada passo, às perguntas feitas no visor digital. Introduziu-se a partir deste momento a massa 12B (neste caso as próprias sementes de mamona) informando-se através de nova digitação que a mesma foi inserida; desta forma, os dados foram sendo processados para cada amostra analisada e os resultados originados e impressos pelo próprio equipamento.

No que diz respeito à determinação do teor de proteína nas sementes, o método utilizado baseia-se nos diagnósticos de tecidos vegetais utilizados pelo grupo Booken na Guiana Inglesa (LE POIDEVIN & ROBINSON, 1964). Inicialmente, as sementes foram trituradas em equipamento apropriado, colocando-se em seguida 0,1 g da amostra de cada um dos tratamentos em tubos de ensaios para posterior digestão sulfúrica. Em cada um destes tubos foram adicionados ainda 50 mg de sulfato de sódio, 0,5 mL de sulfato de cobre a 5 % e 05 mL de ácido sulfúrico. Feita ainda uma prova em branco, todo o material foi submetido a uma pré - digestão a frio por um período de 12 horas. Em seguida o material foi submetido a digestão, aumentando-se gradativamente a temperatura até atingir 350° C, permanecendo nesta condição até que toda a matéria orgânica fosse destruída (material contido no interior dos tubos de ensaios apresentando coloração clara-esverdeada).

Alcançando-se esta condição, 01 mL do material de cada tubo, já frio, foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL, ao qual adicionou-se ainda 01 mL de hidróxido de sódio a 10 %, 01 mL de silicato de sódio a 20 %, 02 mL do Reativo de Nessler, completando-se o volume do balão até os 50 mL com água deionizada.

Após esta etapa, os tubos de ensaios foram deixados em repouso por 30 minutos, para em seguida serem levados a um Espectrofotômetro com comprimento de onda de 410 nm, utilizando-se a curva padrão para determinação do Nitrogênio como referência, de forma que, após obtidos os valores para cada amostra, estes foram multiplicados por um fator 6,25 para obtenção do teor da proteína bruta (% Proteína Bruta = % N x 6,25), utilizando-se para isto um programa informático (Excel), a partir do qual gerou-se a curva e os cálculos para cada tratamento pesquisado.

Ambas as determinações, teores de óleo e proteína nas sementes, foram realizadas nas dependências dos Laboratórios da EMBRAPA – CNPA em Campina Grande, no período de Dezembro de 2005 a Fevereiro de 2006.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Desempenho da instrumentação utilizada no monitoramento do conteúdo de água do solo

4.1.1 - Comportamento do TDR TRIME – FM quando comparado com o Método Gravimétrico

A variação do conteúdo de água do solo determinado através do TDR - TRIME FM e o método gravimétrico entre os dias 12 de setembro a 13 de novembro de 2003, pode ser observada na Figura 03, bem como as regressões que comparam os resultados obtidos entre os métodos utilizados nos quatro intervalos de profundidades. No caso do intervalo de solo de 0 – 10 cm (Figura 3A) nota-se uma considerável discrepância entre os resultados, uma vez que, enquanto o conteúdo médio de água determinado pelo TDR para esta camada ficou em torno de 22 % em volume, a análise gravimétrica realizada a 5 cm de profundidade apresentou um conteúdo médio em torno de 6,5 %, também em volume; esta diferença pode ser explicada pelo fato de que para esta profundidade do perfil, com a proximidade da superfície do solo, a influência da temperatura é bastante considerável (REICHARDT e TIMM, 2004).

Segundo Zegelin et al. (apud JOAQUIM JÚNIOR, 2003), em situações onde podem ocorrer grandes flutuações de temperatura, a influência da mesma na constante dielétrica da água livre deverá ser sempre considerada; ainda segundo estes autores numa superfície do solo, onde a temperatura pode chegar próximo aos 50,00° C, a correção da constante dielétrica da água para mais se aproxima dos 11 %; além do que, a variação espacial do conteúdo de água nesta faixa do perfil se dar de forma extremamente dinâmica, e por sua vez depende de uma série de fatores ligados aos agentes atmosféricos e/ou aos componentes e características do próprio solo (textura, estrutura, declividade, depressões, etc.); aliado a estes fatores, o TDR proporciona a medição do conteúdo de água ao longo de todo o intervalo medido, ou seja, disponibiliza o conteúdo de água médio para os 10 cm da camada de solo, enquanto que a coleta de amostras para determinação do conteúdo de água pela gravimetria ocorre de forma pontual e alternada, face a preocupação de não destruir a estrutura do solo próximo as sondas do TDR (RIGHES et al., 2003).

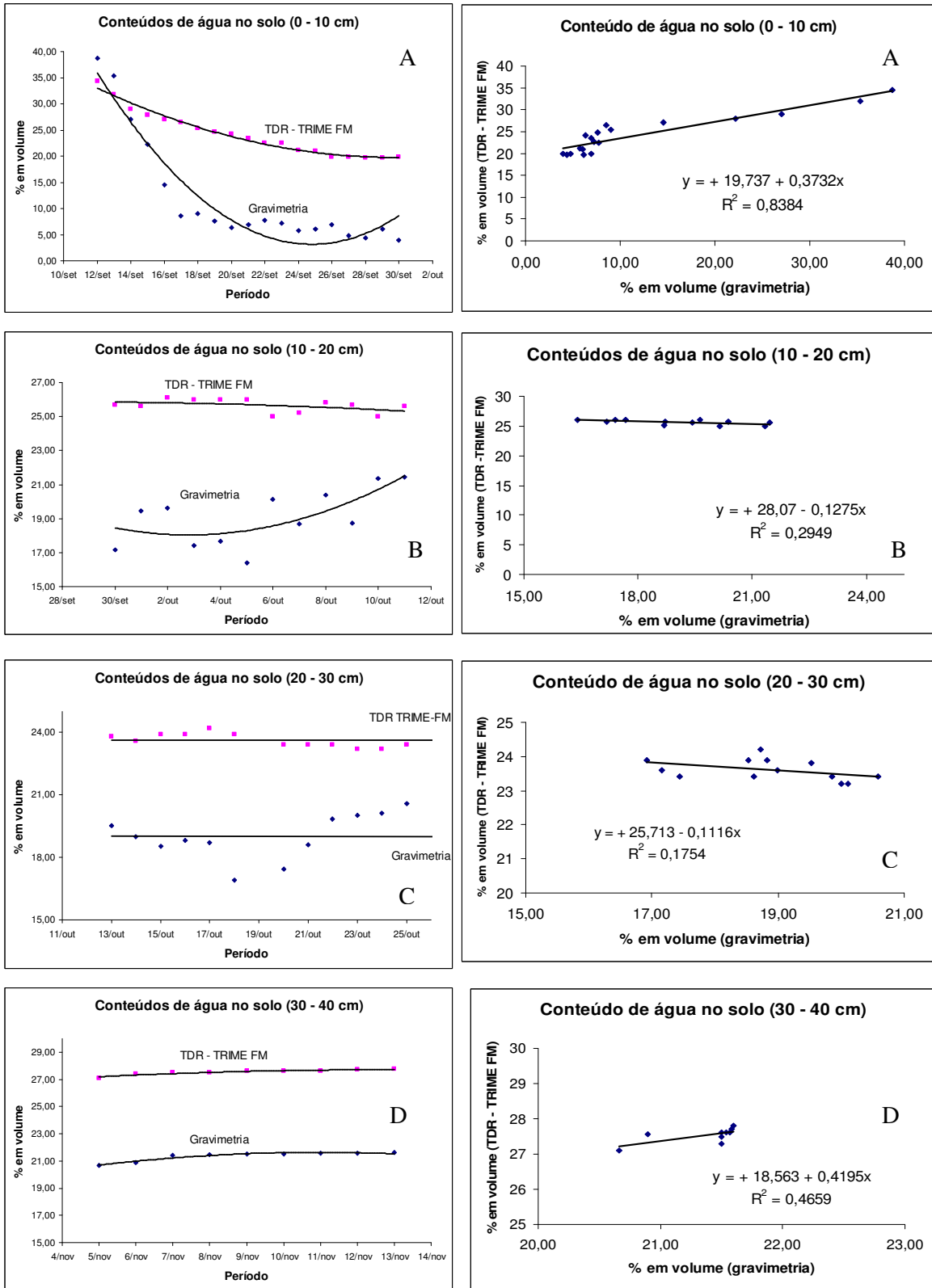


Figura 3 - Comportamento do TDR TRIME – FM comparado ao teste padrão de gravimetria na determinação do conteúdo de água do solo em quatro diferentes profundidades.

Na camada de 10 a 20 cm, observa-se uma menor dispersão nos dados dos gráficos da Figura 3B, constatando-se uma tendência de estabilização das leituras realizadas nos dois métodos, ressaltando que no caso da gravimetria as coletas das amostras foram realizadas a 15 cm de profundidade, com as leituras da umidade existente no solo apresentando um conteúdo médio de 19,04 % em volume, enquanto que a umidade determinada pela sonda do TDR indicou um conteúdo médio de 25,64 % em volume, o que evidencia uma maior aproximação entre as determinações feitas pelos dois métodos, melhorada provavelmente pela ausência da influência da temperatura ambiente, como discutido por Seyfried *et al.* (2001), porém ainda bastante discrepantes em relação ao conteúdo de água determinado. Comportamento idêntico ocorreu na determinação da umidade no intervalo de 20 a 30 cm, conforme observado nos gráficos da Figura 3C, com o conteúdo de água médio determinado pelo TDR ficando em torno de 23,6 % em volume, e pelo método gravimétrico em 19,01 % em volume, com as amostras sendo coletadas a uma profundidade de 25 cm.

Para o intervalo de profundidade de 30 a 40 cm a diferença percentual entre as leituras realizadas voltou a aumentar, com os dados médios obtidos pela sonda do TDR ficando em torno de 27,18 % em volume e para a gravimetria, com solo coletado a 35 cm de profundidade, apresentando um valor de 21,24 % em volume, conforme pode ser observado na Figura 3D.

O distanciamento entre as leituras obtidas pelos dois métodos indica uma fragilidade no desempenho do TDR utilizado. Esta diferença de resultados entre estes dois métodos, encontra-se relacionada provavelmente com a performance do equipamento, que tem sido amplamente reportada pela bibliografia como instrumento viável para o monitoramento do conteúdo de água do solo sem ajustes preliminares. Todavia, como as equações utilizadas normalmente não são adequadas para todos os tipos de solos, tem-se a comprovação para este instrumento da necessidade de calibrações locais e até mesmo individuais para cada tipo de solo (SILVA, 1998; COELHO *et al.*, 2001; TOMMASELLI e BACHI, 2001).

4.1.2 - Comportamento do TDR HH2 quando comparado com o Método Gravimétrico

A variação do conteúdo de água do solo determinado com o TDR HH2 no primeiro intervalo de profundidade (0 – 10 cm), apresentou-se dentro da mesma faixa encontrada pelo

TDR TRIME–FM, conforme observado nos gráficos da Figura 4A, com o conteúdo médio de água obtido ficando próximo dos 22 % em volume contra 6,5 % em volume obtidos pela análise gravimétrica. Esta discrepância encontrada também na determinação do conteúdo de água do solo por este TDR, reforça as hipóteses já discutidas para os dados obtidos com o TDR – TRIME FM para este mesmo intervalo de profundidade.

Na camada de solo subsequente (10 a 20 cm), as leituras de conteúdo médio de água ficaram em torno de 19,04 % em volume para gravimetria e de 23,41 % em volume para sonda do TDR HH2, conforme pode ser observado nos dados apresentados nos gráficos da Figura 4B, indicando haver uma diminuição na diferença entre os conteúdos de água determinados pelos dois métodos para esta profundidade do perfil; esta considerável melhora nos resultados obtidos por este TDR em relação ao método padrão, pode ter explicação tanto pela ausência da influência da temperatura ambiente (SEYFRIED et al., 2001), como por uma performance melhor do HH2 frente ao TRIME FM, uma vez que, mesmo tendo apresentado uma diferença média de 4,37 % para o método gravimétrico, é importante registrar que na última bateria de leitura o resultado obtido já se mostra muito próximo ao da gravimetria, com o conteúdo de água determinado pelo HH2 ficando em 22,5 %, contra os 21,5 % obtidos pelo teste padrão.

Estes bons resultados ficam ainda mais evidenciados nos gráficos da Figura 4C (intervalo de 20 a 30 cm de profundidade), onde os dados coletados apontam para um conteúdo de umidade médio determinado pelo HH2 de 19,9 % em volume, enquanto que pelo método gravimétrico o conteúdo médio encontrado ficou em 19,0 %; esta diferença de 0,9 % já é bem menor aos resultados obtidos por Souza et al. (2006), que após calibração de um TDR de sondas contínuas, apontaram com sendo muito boa a diferença média entre os conteúdos de água encontrados pelo equipamento e medidos pelo método gravimétrico que ficou em torno de 1,7 % durante o desenvolvimento de estudos da dinâmica do nitrato no solo aplicado via fertirrigação.

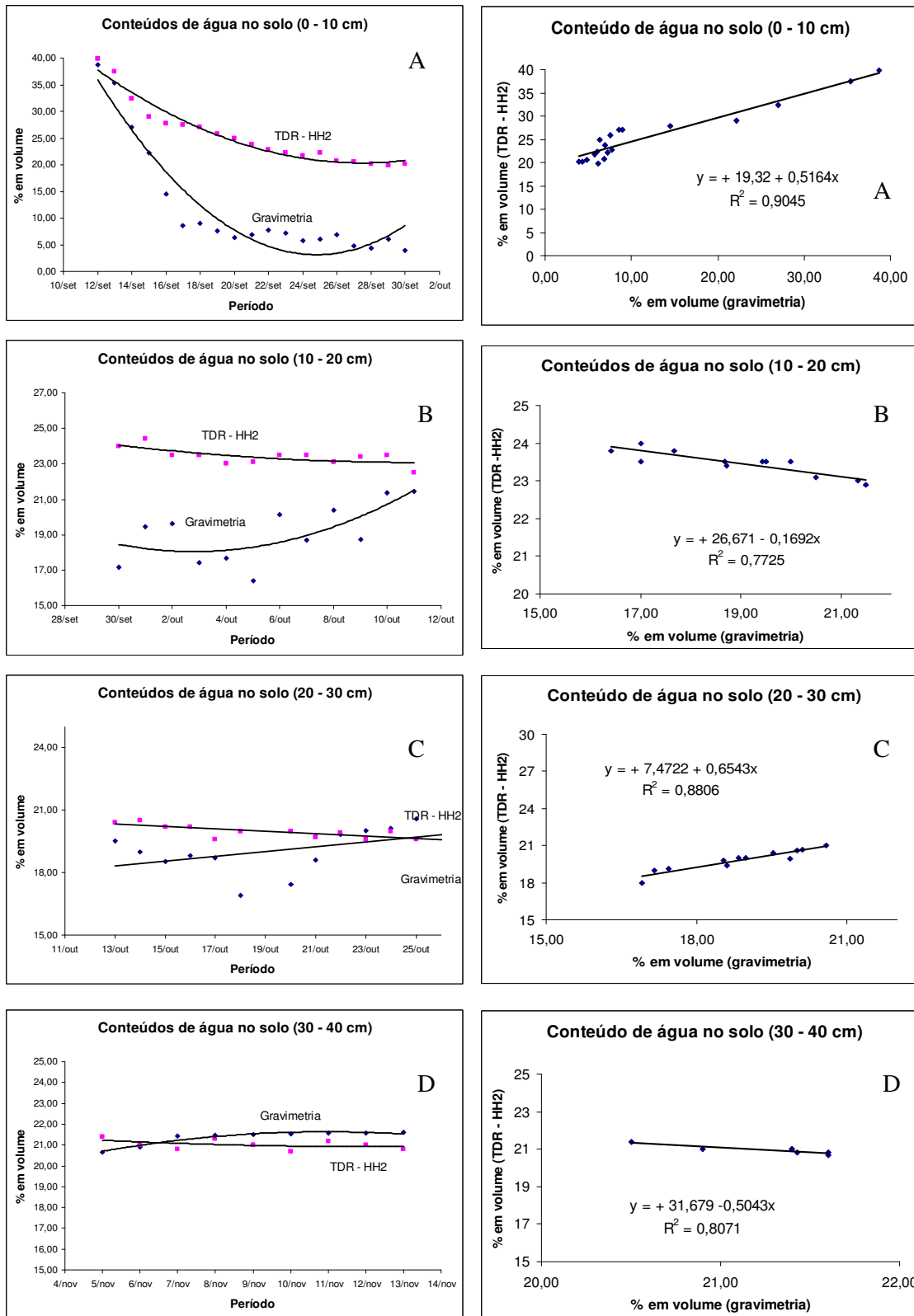


Figura 4 - Comportamento do TDR HH2 comparado ao teste padrão de gravimetria na determinação do conteúdo de água do solo em quatro diferentes profundidades.

Por fim, esta diferença praticamente desapareceu na profundidade seguinte (30 a 40 cm), onde os conteúdos médios de água determinados pelos dois métodos (TDR e Gravimétrico) foram respectivamente de 20,94 % e 21,24 % em volume, conforme pode ser constatado nos gráficos da Figuras 4D. Este distanciamento de 0,3 % em média, condiz com as especificações do fabricante para o tipo de sonda utilizada (segmentada do tipo PR1/6), comprovando a excelente performance deste equipamento que se apresenta como um instrumento eficaz para o monitoramento do conteúdo de água do solo (SILVA, 1998; COELHO et al., 2001; TOMMASELLI e BACHI, 2001).

4.1.3 - Comportamento dos TDR's TRIME – FM e HH2 quando comparados com os tensiômetros

Para inferir os conteúdos de água a partir dos potenciais matriciais (Ψ_m) obtidos pelos tensiômetros foi necessária a construção da Curva de Retenção de Água do solo. A tabela 03 mostra os conteúdos de água (θ) do solo em volume obtidos quando o solo foi submetido a diferentes potenciais matriciais (Ψ_m) no laboratório através do extrator de Richards, como também os valores estimados através da metodologia proposta por van Genuchten (1980). Os valores ajustados foram obtidos utilizando-se o Software SWRC. A Curva construída a partir destes dados e a equação que descreve a relação entre os conteúdos de água em volume (θ) e o potencial matricial (Ψ_m) encontram-se na Figura 05. Os parâmetros da curva foram: $\alpha = 0,2132$; $m = 0,2364$; $n = 2,4273$; $\theta_s = 0,385$ e $\theta_r = 0,118$.

Tabela 3 - Dados da curva de retenção de água do solo obtidos no extrator de Richards e estimados pela equação de van Genuchten.

Potencial matricial (Kpa)	Conteúdo de água em volume ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) obtido no extrator de Richards	Conteúdo de água em volume ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) corrigido a partir da metodologia proposta por van Genuchten (1980)
0	0,387	0,385
10	0,274	0,285
33	0,219	0,205
100	0,160	0,164
300	0,143	0,143
500	0,137	0,136
800	0,135	0,132
1000	0,132	0,130
1200	0,126	0,129
1500	0,118	0,128

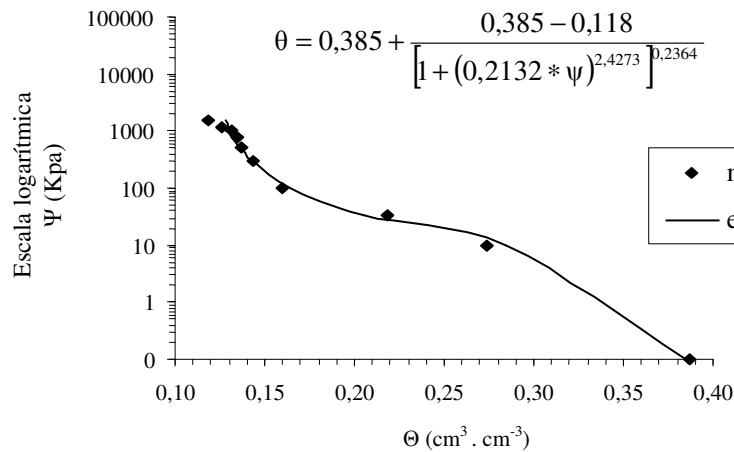


Figura 5 - Curva de retenção de água ajustada pela metodologia de van Genuchten.

Os gráficos obtidos através da plotagem simultânea dos dados das leituras diárias realizadas nos tensiômetros e nos TDR's para profundidade média de 10 – 20 cm encontram-se apresentados na Figura 6. Na Figura 6A os dados do TDR TRIME - FM e na Figura 6B os dados do TDR HH2. As leituras obtidas nos tensiômetros (originais e corrigidas), bem como as tensões e os respectivos conteúdos de água para cada uma delas encontram-se no Anexo.

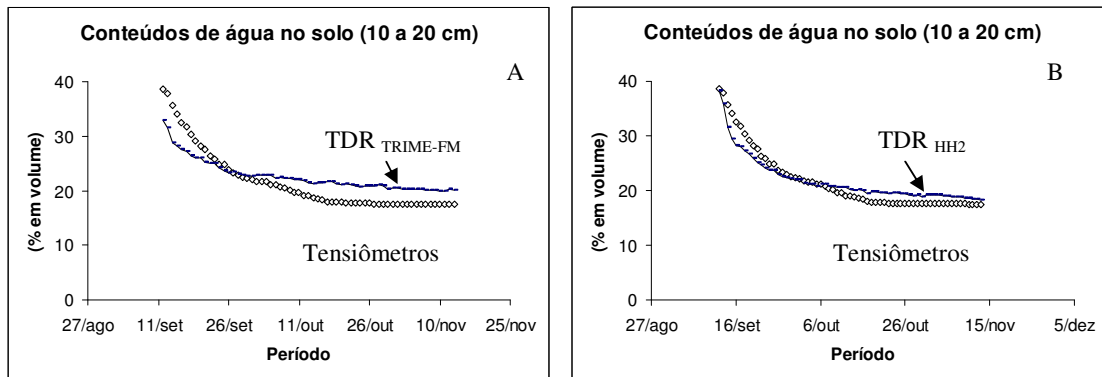


Figura 6 - Comportamento dos TDR's TRIME FM e HH2 na determinação do conteúdo de água do solo comparados com as determinações dos tensiômetros na profundidade média de 10 - 20 cm.

Nos gráficos das Figuras 6A e 6B é possível observar uma boa aproximação das leituras obtidas tanto para tensiômetros como para TDR's, com as curvas apresentando comportamentos muito semelhantes; entretanto, confirmando as tendências já observadas nas

comparações dos dois TDR's com o teste padrão da gravimetria, o desvio percentual das leituras do TDR TRIME - FM se apresenta bem mais acentuado, uma vez que o conteúdo de água determinado através deste equipamento subestima a umidade volumétrica determinada pela tensiometria em 1,04 %, resultados que corroboram com as conclusões de Cichota (2003) que na determinação do conteúdo de água de um Latossolos Vermelho-amarelo utilizando sondas de um TDR semelhante, tendo como referência também o método da tensiometria, afirma que a aplicabilidade do modelo do TDR usado ficou prejudicada em função das variações da resposta do mesmo serem muito elevadas entre as várias hastes ou mesmo entre segmentos de uma mesma haste quando comparadas com resultados obtidos nos tensiômetros.

Confirmando a boa performance do TDR HH2, o desvio médio na obtenção do conteúdo de água por este equipamento em relação às determinações dos tensiômetros ficou em apenas 0,19 % da umidade volumétrica, ou seja, 5,5 vezes menor de que a média dos resultados obtidos pelo TRIME – FM e rigorosamente dentro dos padrões de tolerância preconizados pelo fabricante. Este resultado confirma aqueles obtidos por Otto e Alcaide (2001) que, em ensaios conduzidos tanto em laboratório quanto no campo, concluíram não só ser possível determinar a umidade volumétrica através das sondas calibradas do TDR com base nas determinações pela tensiometria, como o método TDR - tensiômetro pode ser facilmente usado na obtenção da curva de retenção de água no solo.

É importante notar ainda que para ambos os TDR's ocorre uma menor dispersão dos valores dos conteúdos de água determinados abaixo de 25 % da umidade volumétrica, como pode ser observado nos gráficos das Figuras 7A e 7B.

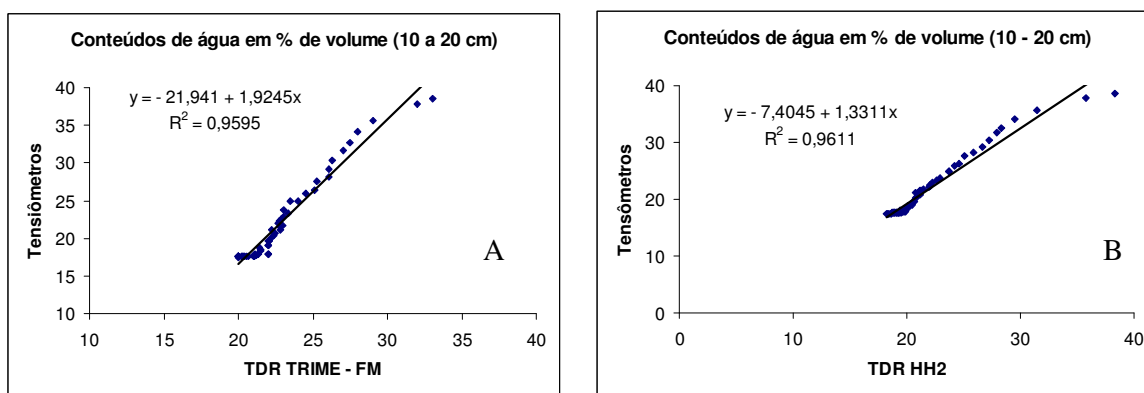


Figura 7 - Dispersão dos dados na determinação dos conteúdos de água em % de volume obtidos por tensiômetros e TDR'S na profundidade média de 10 - 20 cm.

Com base nos resultados e no desempenho apresentada pelos equipamentos, decidiu-se utilizar o TDR HH2 para condução dos trabalhos no monitoramento do conteúdo de água do solo e na reposição das lâminas aplicadas durante os 180 dias de condução do experimento, onde as cultivares de mamona foram submetidas continuamente a estresse hídrico por escassez de água no solo.

4.2 - Desempenho das cultivares de mamona submetidas a diferentes conteúdos de água no solo

4.2.1 - Germinação e índice de velocidade de emergência

As análises de variância e as médias observadas para porcentagem de germinação (PG) e índice de velocidade de emergência (IVE), obtidos até os 14 DAS, estão resumidas na Tabela 4.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância referente aos dados **porcentagem de germinação** (PG) e **índice de velocidade de germinação** (IVE) apresentadas pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		Porcentagem de germinação	Índice de velocidade de emergência
Cultivares	1	0,00 ^{ns}	0,012 ^{ns}
Água Disponível	3	113,60 ^{ns}	0,009 ^{ns}
Interação	3	22,72 ^{ns}	0,004 ^{ns}
Blocos	2	366,37 ^{ns}	0,043 ^{ns}
Resíduo	14	113,60	0,10
CV %		12,07	12,36
		Médias	
Tratamentos		%	Plântulas.dia ⁻¹
Nordestina		88,13	0,84
Paraguaçu		88,13	0,80
40 % de água disponível		90,50	0,83
60 % de água disponível		93,00	0,86
80 % de água disponível		83,00	0,80
100 % de água disponível		86,00	0,80

GL - grau de liberdade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação.

Verifica-se que não houve diferença significativa para ambas as cultivares que apresentaram o mesmo índice médio de germinação (88,13 %) e IVE médio de 0,82 nas condições de ambiente e solo em que foi desenvolvido o ensaio, resultado próximo ao encontrado por Cavalcanti (2003) que em trabalhos com a cultivar Nordestina obteve um IVE de 0,96, índice que ao se aproximar do valor unitário comprova o vigor dos lotes de sementes utilizados no ensaio. É importante registrar que as primeiras plântulas emergiram no sexto dia após semeio, com o stand final estabilizando-se por volta do décimo segundo dia. Estes resultados já eram esperados devido ao fato de se ter aplicado uma lâmina de água de pré-plantio que manteve o solo próximo da capacidade de campo, garantindo assim, as condições necessárias para embebição das sementes e, conseqüente, a reativação de suas organelas e macromoléculas, favorecendo o início das divisões celulares, conforme descrito por Sampaio (1998) para o metabolismo da germinação de sementes.

O índice médio de germinação de 88,13 % segue os padrões esperados para a cultura, principalmente pela informação obtida que os lotes de sementes utilizados, oriundos da EMBRAPA-CNPA, já se encontravam armazenados em condições ambiente por um período de aproximadamente um ano; por outro lado, a formação de um bom stand final e o vigor observado nas plântulas, comprovam que as reservas existentes nas sementes foram suficientes para garantir o processo inicial de desenvolvimento das plantas.

4.2.2 - Altura de planta e taxa de crescimento absoluto da altura da planta

Realizadas as medições da altura de planta (AP) de 20 em 20 dias até os 180 DAS, os dados obtidos foram submetidos à análise estatística cujo resumo da análise de variância encontra-se na Tabela 5. Com relação às cultivares estudadas houve diferença significativa ao nível de 5 % de probabilidade ($p \leq 0,05$) apenas aos 40 DAS, em que a cultivar Paraguaçu se sobrepôs a Nordestina; entretanto, esta análise permite constatar que esta diferença foi suprimida ao longo do ciclo, não apresentando significância estatística entre as cultivares nas demais épocas estudadas (60 a 180 DAS).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância referente à variável **altura da planta** (AP) relativo aos dados obtidos até os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Altura da planta								
		Quadrado médio								
		20 DAS	40 DAS	60 DAS	80 DAS	100 DAS	120 DAS	140 DAS	160 DAS	180 DAS
Cultivares	1	7,04 ^{ns}	66,66 [*]	63,75 ^{ns}	145,04 ^{ns}	35,04 ^{ns}	4,16 ^{ns}	7,04 ^{ns}	22,04 ^{ns}	24,00 ^{ns}
Água Disponível	3	7,15 ^{ns}	304,61 ^{**}	1119,81 ^{**}	3078,04 ^{**}	4573,26 ^{**}	6727,61 ^{**}	8213,48 ^{**}	12633,81 ^{**}	13209,83 ^{**}
Regressão Polinomial Linear	-		864,03 ^{**}	3172,40 ^{**}	8892,40 ^{**}	12875,40 ^{**}	18550,53 ^{**}	22770,07 ^{**}	36540,30 ^{**}	36540,30 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática	-		4,16 ^{ns}	26,04 ^{ns}	287,04 [*]	85,00 ^{**}	1504,16 ^{**}	1785,37 ^{**}	3082,66 ^{**}	3082,66 ^{**}
Reg. Pol. Cúbica	-		45,63 [*]	161,00 ^{**}	54,67 ^{ns}	132,30 ^{ns}	128,13 ^{ns}	85,00 ^{ns}	6,53 ^{ns}	6,53 ^{ns}
Interação	3	1,93 ^{ns}	10,88 ^{ns}	32,26 ^{ns}	4,81 ^{ns}	33,81 ^{ns}	76,50 ^{ns}	42,81 ^{ns}	127,37 ^{ns}	120,77 ^{ns}
Blocos	2	1,62 ^{ns}	00,12 ^{ns}	1,29 ^{ns}	19,62 ^{ns}	6,79 ^{ns}	20,04 ^{ns}	33,50 ^{ns}	255,12 ^{ns}	32,79 ^{ns}
Resíduo	14	4,14	8,07	15,05	40,33	39,07	58,51	93,83	205,41	139,12
CV %		12,44	10,06	10,77	14,31	12,94	14,55	17,34	22,61	22,90
Tratamentos		Médias da altura das plantas em cm								
Nordestina		15,83 a	26,58 b	34,41 a	41,91 a	47,08 a	52,16 a	55,33 a	64,33 a	65,25 a
Paraguaçu		16,91 a	29,91 a	37,66 a	46,83 a	49,50 a	53,00 a	56,41 a	62,41 a	63,08 a
DMS		1,78	2,48	3,39	5,56	5,47	6,69	8,48	12,54	12,88
40 % de água disponível		15,66	19,16	20,50	21,33	22,00	22,16	22,33	23,00	23,00
60 % de água disponível		15,83	27,83	33,33	34,33	34,83	35,33	36,00	36,16	36,16
80 % de água disponível		16,00	29,50	36,66	47,50	50,50	54,00	58,50	68,33	69,66
100 % de água disponível		18,00	36,50	53,66	74,33	85,83	98,83	106,66	126,00	128,16

GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$).

No que se refere às lâminas de água aplicadas constatou-se que, com exceção dos dados colhidos aos 20 DAS, observaram-se diferenças significativas ao nível de 1 % de probabilidade ($p \leq 0,01$) para todas as demais épocas de avaliação, com superioridade do tratamento cujo solo foi mantido no nível de 100% de água disponível. A ausência de diferenças significativas entre os tratamentos para o período de 20 DAS reforça a suposição de que a lâmina inicialmente aplicada, elevando o conteúdo de água do solo à condição de capacidade de campo, no sentido de favorecer a germinação das sementes e o desenvolvimento inicial das plântulas, manteve a umidade volumétrica numa condição satisfatória durante este período, proporcionando um crescimento em termos de altura muito próximo entre as plantas de todos os tratamentos.

A altura média das plantas conduzidas sem estresse hídrico no último período de avaliação do experimento (180 DAS) foi de 1,28 m, caracterizando-as como de porte baixo de acordo com Nóbrega et al. (2001).

As análises das regressões, também presentes na Tabela 5, permitem constatar a tendência de crescimento linear na altura das plantas em todas as épocas. As curvas de regressão e suas respectivas equações podem ser observadas na Figura 8. Nota-se que o aumento, além de linear em todas as épocas de coleta dos dados, também evolui de forma crescente com o avanço do ciclo, variando de 0,26 cm na altura da planta por aumento unitário do percentual de água no solo em volume aos 40 DAS a 1,37 cm aos 180 DAS. Esta tendência também foi constatada por Rodrigues et al. (2006 a) ao testarem diferentes níveis de reposição de água (60%,75%,90%,105% e 120% da Evapotranspiração) para estas mesmas cultivares de mamona, principalmente a partir dos 90 dias após semeio. Lacerda (2006) em trabalhos com a cultivar Paraguaçu submetida a diferentes conteúdos de água no solo (70, 80, 90 e 100 % de água disponível) constatou variação na altura da planta de 0,08 a 1,23 cm dos 20 aos 120 dias após semeadura.

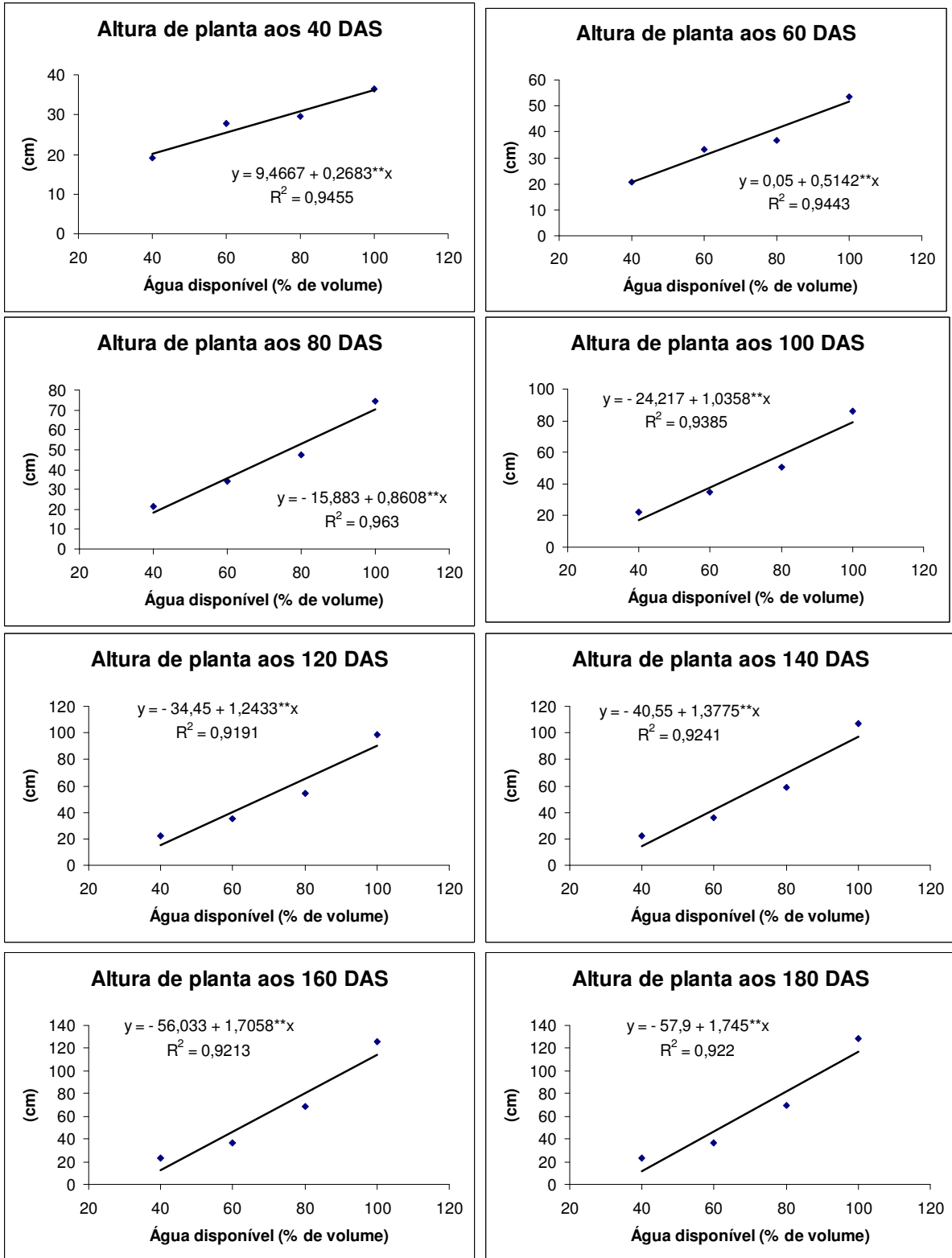


Figura 8 - Altura da planta (AP) de mamona, em cm, dos 40 aos 180 dias após sementeira (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.

É importante notar que, para os tratamentos onde as plantas foram submetidas aos menores conteúdos de água no solo (40 e 60 % de AD), observou-se um comportamento idêntico a partir dos 60 DAS com as plantas praticamente paralisando o crescimento em termos de altura até o final do ciclo; por outro lado, verifica-se que as plantas mantidas na capacidade de campo (100 % AD) apresentaram na última etapa da coleta de dados (180 DAS) o dobro da média de altura (128,16 cm) alcançada pelas plantas cultivadas no solo com 80 % AD (69,16 cm), evidenciando-se nos dois casos a sensibilidade destas cultivares à situação de estresse hídrico a que foram submetidas. Pereira (1995) realizando estudos com duas cultivares de outra espécie de oleaginosa (Cultivares de algodão herbáceo CNPA – precoce 1 e CNPA – 7H), também submetidas a diferentes níveis de água disponível no solo, obteve resultados similares para altura de planta.

Na Tabela 06 encontra-se a análise de variância da taxa de crescimento absoluto da altura de planta (TCAP) referente às 08 medições feitas em intervalos de 20 dias durante o ciclo de cultivo da mamona; com base nos dados primários obtidos em cada um destes períodos foi possível avaliar com maior precisão as características do crescimento das plantas em termos de ganho de altura ao longo de todo experimento. Com relação às cultivares encontra-se diferença estatística significativa apenas no primeiro intervalo de leitura (20 – 40 DAS), com a cultivar Paraguaçu apresentando uma taxa média diária de crescimento de 1,28 cm, enquanto que para Nordestina este crescimento médio ficou em 1,23 cm; entretanto, confirmando a tendência já observada na variável altura de planta (AP), esta diferença já não mais foi registrada no intervalo seguinte de avaliação, permanecendo assim até o final do experimento.

No que se referem às lâminas aplicadas, as diferenças estatísticas entre os tratamentos foram significativas ao nível de 1 % de probabilidade ($p \leq 0,01$) para todos os períodos analisados, com destaques para dois destes períodos, onde as plantas mantidas nos solos com 100 e 80 % de água disponível apresentaram as maiores taxas de crescimento de altura da planta para todos os períodos analisados, sendo respectivamente 1,05 e 0,54 cm dia⁻¹ no período de 60 – 80 DAS, 0,96 e 0,49 cm dia⁻¹ entre 140 e 160 DAS. Confirma-se aqui a superioridade das plantas cultivadas em solo mantido na capacidade de campo e a sensibilidade já apresentada pelas cultivares à redução de uma fração inicial de 20 % da água disponível, fazendo com que o desempenho das plantas cultivadas na primeira lâmina seja de no mínimo o dobro da segunda.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância referente a **taxa de crescimento absoluto da altura da planta**¹ (TCAP) até os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Taxa de crescimento absoluto da altura da planta							
		Quadrado médio							
		20 – 40 DAS	40 – 60 DAS	60 – 80 DAS	80 – 100 DAS	100 – 120 DAS	120 – 140 DAS	140 – 160 DAS	160 – 180 DAS
Cultivares	1	0,01 **	0,00 ns	0,00 ns	0,01 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,01 ns	0,000 ns
Água Disponível	3	0,09 **	0,11 **	0,22 **	0,07 **	0,09 **	0,04 **	0,20 **	0,003 **
Regressão Polinomial Linear		0,263710 **	0,315218 **	0,609779 **	0,179259 **	0,234467 **	0,114877 **	0,547720 **	0,007917 **
Reg. Pol. Quadrática		0,009576 **	0,014623 *	0,044557 *	0,048497 **	0,052894 **	0,005601 ns	0,062265 *	0,000935 **
Reg. Pol. Cúbica		0,010756 **	0,012210 *	0,015274 ns	0,000763 ns	0,001770 ns	0,003182 ns	0,015630 ns	0,000807 *
Interação	3	0,004 ns	0,00 ns	0,01 ns	0,01 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns
Blocos	2	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,04 ns	0,00 ns
Resíduo	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
CV %		2,58	4,24	6,83	5,74	4,51	6,66	9,40	0,99
Tratamentos		Médias das taxas de crescimento da altura das plantas em cm dia⁻¹							
Nordestina		1,23 (0,53) b	1,17 (0,39) a	1,16 (0,37) a	1,11 (0,26) a	1,11 (0,26) a	1,07 (0,15) a	1,17 (0,44) a	1,17 (0,05) a
Paraguaçu		1,28 (0,65) a	1,17 (0,38) a	1,19 (0,47) a	1,05 (0,12) a	1,08 (0,18) a	1,07 (0,16) a	1,13 (0,30) a	1,13 (0,04) a
DMS		0,02	0,04	0,07	0,054	0,04	0,06	0,09	12,54
40 % de água disponível		1,08 (0,18)	1,03 (0,06)	1,01 (0,04)	1,01 (0,02)	1,00 (0,02)	1,00 (0,00)	1,00 (0,00)	1,00 (0,00)
60 % de água disponível		1,25 (0,58)	1,12 (0,27)	1,03 (0,06)	1,01 (0,02)	1,01 (0,04)	1,01 (0,02)	1,01 (0,03)	1,00 (0,02)
80 % de água disponível		1,29 (0,68)	1,16 (0,36)	1,24 (0,54)	1,07 (0,15)	1,08 (0,18)	1,10 (0,22)	1,20 (0,49)	1,03 (0,07)
100 % de água disponível		1,38 (0,92)	1,36 (0,85)	1,42 (1,05)	1,25 (0,58)	1,28 (0,65)	1,17 (0,38)	1,39 (0,96)	1,05 (0,11)

¹ - Dados transformados em $\sqrt{X+1}$; GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$); Os dados apresentados entre parênteses referem-se aos originais sem transformação.

A análise da evolução dos dados ao longo das etapas de avaliação permite constatar um crescimento linear até os 80 DAS, principalmente para as plantas cultivadas a 100 % de água disponível, com redução significativa na taxa de crescimento para os três períodos seguintes, com uma retomada significativa aos 140 DAS. Este comportamento (também evidenciado nas equações das regressões apresentadas nos gráficos da Figura 9) pode estar relacionado diretamente com a formação, desenvolvimento e enchimento dos frutos, uma vez que as primeiras inflorescências apareceram por volta dos 40 dias para Paraguaçu e 50 dias para Nordestina, com colheita das primeiras bagas iniciando exatamente no período de 80 a 90 DAS e pico de safra entre 100 e 130 DAS, conforme dados a serem apresentados e discutidos mais adiante para as variáveis produção de frutos e de sementes.

Geralmente uma queda na taxa de crescimento tem relações com fatores complexos, principalmente na natureza, onde flutuações irregulares na curva de crescimento são superpostas por flutuações ambientais, que além do suprimento de água, encontram-se ligadas ainda à disponibilidade de luz, temperatura, entre outros (FELIPPE, 1979). Para Larcher (2000), paralisações no crescimento vegetativo em função da aceleração do crescimento produtivo ocorrem pela canalização da energia e de materiais destinados a floração e frutificação, que por sua vez originam-se no processo fotossintético, na incorporação de substâncias minerais e na mobilização de reservas para formação e enchimento dos frutos.

Os tratamentos com lâminas de 40 e 60 % de AD apresentaram taxas de crescimento muito reduzidas, praticamente paralisadas a partir dos 60 DAS com variações de 0,06 a 0,00 cm dia⁻¹. A análise de variância, tanto para altura de planta quanto para a TCAP, permitem constatar que não houve diferenças estatísticas para interação Cultivares x Água disponível, significando que os fatores estudados foram independentes entre si.

As equações geradas a partir das regressões para a taxa de crescimento de altura de planta (Figura 9) indicam um comportamento linear para todos os períodos analisados com exceção do período de 80 – 100 DAS, onde este se mostrou quadrático; por outro lado, ao contrário da variável altura de planta, a evolução destas taxas por aumento unitário do percentual de água no solo não se deu de forma crescente com o avanço do ciclo, com as maiores taxas sendo registradas nos períodos de 60 a 80 e 140 a 160 DAS (0,007 cm dia⁻¹ a cada 1% de água disponível em volume no solo) e a menor na ordem de 0,0008 cm dia⁻¹ no período de 160 a 180 DAS.

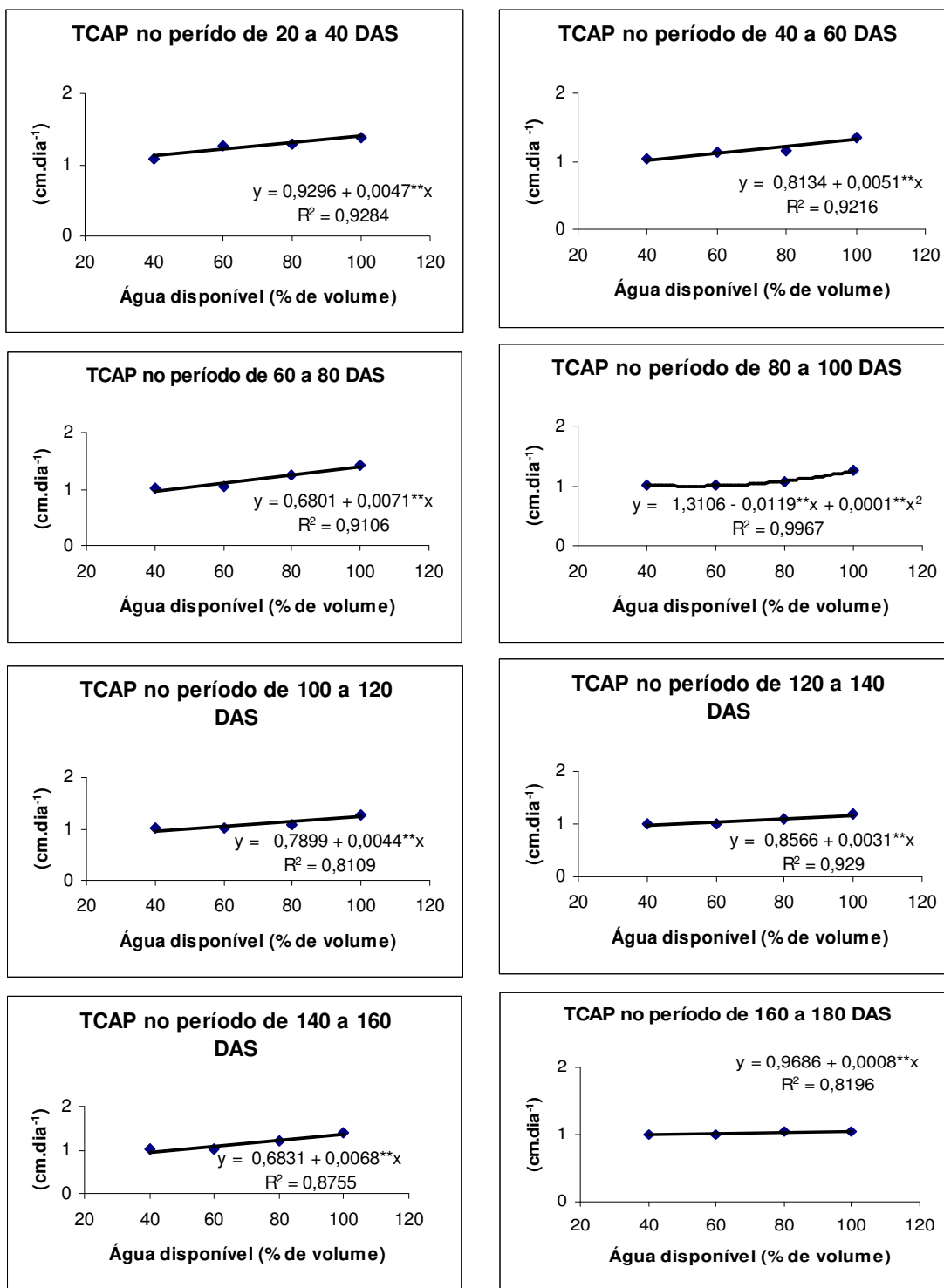


Figura 9 - Taxa de crescimento da altura da planta (TCAP) de mamona em cm dia⁻¹ dos 20 aos 180 dias após semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.

4.2.3 - Diâmetro do caule

O diâmetro do caule (DC), assim como a altura da planta (AP), também foi mensurado a cada 20 dias realizando-se 09 medições durante todo ciclo da cultura, com os dados submetidos à análise estatística cujo resumo da análise de variância encontra-se na Tabela 7.

Com relação às cultivares estudadas houve diferença significativa ao nível de 5 % de probabilidade ($p \leq 0,05$) apenas nos dois períodos iniciais de avaliação (20 e 40 DAS), em que a cultivar Paraguaçu mais uma vez se sobrepôs a Nordestina, assim como observado para a variável altura de planta. Os valores médios do diâmetro caulinar aos 40 e 60 DAS para esta cultivar, 12,50 e 15,83 mm respectivamente, apresentaram-se muito próximos das médias obtidas por Queiroz et al. (2006), que em trabalhos de aferição do efeito de diferentes temperaturas ambiente sobre o crescimento da Paraguaçu, conduzida também com diferentes doses de nitrogênio, obtiveram diâmetros caulinares de 12 e 15,9 mm, respectivamente aos 40 e 60 DAS, em temperaturas próximas as de Campina Grande. Entretanto, a análise permite constatar que esta diferença também foi sendo suprimida ao longo do ciclo não apresentando significância estatística dos 60 aos 180 DAS.

Sabendo-se que o diâmetro do caule é um valor primário de extrema importância em análises de crescimento não destrutivo, a constatação da não significância estatística entre as médias obtidas em 07 das 09 determinações para as duas cultivares, evidência que Paraguaçu e Nordestina reagem de forma similar quando submetidas ao estresse hídrico por escassez de água no solo.

Com exceção do primeiro período da avaliação (20 DAS), o fator água disponível exerceu uma elevada significância ($p \leq 0,01$) em todas as etapas da avaliação (de 40 a 180 DAS), com as plantas conduzidas no tratamento onde o solo permaneceu em capacidade de campo superando as demais de forma crescente à medida que o ciclo da cultura evoluiu, apresentando diferenças que variaram de 52 % (40 DAS) a 292 % (180 DAS) acima com relação às plantas cujo conteúdo de água no solo foi mantido a 40 % de água disponível. Ressaltando ainda mais a sensibilidade destas cultivares a redução do conteúdo de água no solo, na análise estatística é possível ainda constatar uma diferença considerável entre as plantas com 100% de AD e aquelas conduzidas em solo com 80 % de AD, cujo diâmetro do

caule apresentou um aumento da ordem de 85% (42,50 mm) em relação as plantas do tratamento anterior (80 % de AD), cujo diâmetro médio do caule foi de 23,03 mm.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância referente à variável **diâmetro do caule** (DC) relativo aos dados obtidos até os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Diâmetro do caule								
		Quadrado médio								
		20 DAS	40 DAS	60 DAS	80 DAS	100 DAS	120 DAS	140 DAS	160 DAS	180 DAS
Cultivares	1	1,50 *	5,04 *	6,00 ^{ns}	2,66 ^{ns}	6,00 ^{ns}	0,16 ^{ns}	3,37 ^{ns}	3,37 ^{ns}	0,66 ^{ns}
Água Disponível	3	0,00 ^{ns}	29,04 **	130,22 **	394,33 **	625,11 **	813,44 **	1029,48 **	1106,81 **	1170,00 **
Regressão Polinomial Linear	-		81,67 **	388,80 **	1153,20 **	1794,13 **	2305,63 **	2871,40 **	3050,20 **	3203,33 **
Reg. Pol. Quadrática	-		5,04 *	0,66 ^{ns}	28,16 *	80,66 **	130,66 **	210,04 **	260,04 **	294,00 **
Reg. Pol. Cúbica	-		0,40 ^{ns}	1,20 ^{ns}	1,63 ^{ns}	0,53 ^{ns}	4,03 ^{ns}	7,00 ^{ns}	10,20 ^{ns}	13,33 ^{ns}
Interação	3	0,16 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,88 ^{ns}	2,44 ^{ns}	8,50 ^{ns}	26,37 ^{ns}	29,04 ^{ns}	19,11 ^{ns}
Blocos	2	0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,87 ^{ns}	6,29 ^{ns}	16,62 ^{ns}	20,79 ^{ns}	30,79 ^{ns}
Resíduo	14	0,23	1,04	2,00	3,52	5,39	6,91	10,95	13,17	15,07
CV %		6,15	8,48	9,24	9,98	11,33	12,13	14,63	15,81	16,76
Tratamentos		Médias do diâmetro do caule em mm								
Nordestina		7,58 b	11,58 b	14,83 a	18,50 a	20,00 a	21,58 a	23,00 a	23,33 a	23,33 a
Paraguaçu		8,08 a	12,50 a	15,83 a	19,16 a	21,00 a	21,75 a	22,25 a	22,58 a	23,00 a
DMS		0,42	0,89	1,24	1,64	2,03	2,30	2,89	3,17	3,39
40 % de água disponível		7,83	9,16	10,00	10,50	10,66	10,66	10,66	10,83	10,83
60 % de água disponível		7,83	11,50	13,66	15,00	15,00	15,50	15,50	15,50	15,50
80 % de água disponível		7,83	13,50	16,66	20,50	22,33	23,16	23,83	23,83	23,03
100 % de água disponível		7,83	14,00	21,00	29,33	34,00	37,33	40,50	41,66	42,50

GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$).

Segundo Nóbrega et al. (2001), para os padrões da cultura, estes caules são classificados respectivamente como médio e fino. Estes dados contradizem os resultados obtidos por Nascimento (2003) que mantendo plantas da cultivar de mamona Nordestina (BRS 149) em um solo de características próximas ao usado neste experimento, com irrigações que, segundo a metodologia descrita, mantiveram a cultura sem estresse hídrico por 250 dias, obteve um diâmetro de caule de apenas 18 mm, valor muito próximo do obtido neste trabalho para as plantas cultivadas com 60 % de água disponível (Tabela 7). Entretanto, Severino et al. (2004 c), avaliando os benefícios da técnica de cultivo bi-anual, também com a cultivar Nordestina, obtiveram através de medições na base do caule, aos 170 dias após o plantio, com plantas adubadas e também sem estresse hídrico, um diâmetro caulinar médio de 43 mm, dimensão muito próxima à obtida neste trabalho aos 180 DAS para as plantas conduzidas sem escassez de água no solo.

As análises das regressões, também apresentadas na Tabela 7, e suas respectivas curvas (Figura 10), permitem constatar a tendência de crescimento linear no diâmetro do caule das plantas em todas as épocas onde as avaliações apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Observa-se que o aumento no diâmetro do caule também evoluiu de forma crescente com o avanço do ciclo da cultura, variando de 0,08 mm por aumento unitário do percentual de água no solo em volume aos 40 DAS a 0,52 mm aos 180 DAS. A análise de variância permite constatar ainda que não houve diferenças estatísticas significativas para interação Cultivares x Água disponível, significando que os fatores estudados atuaram de forma independentes no diâmetro do caule, não havendo interferência de um sobre o outro.

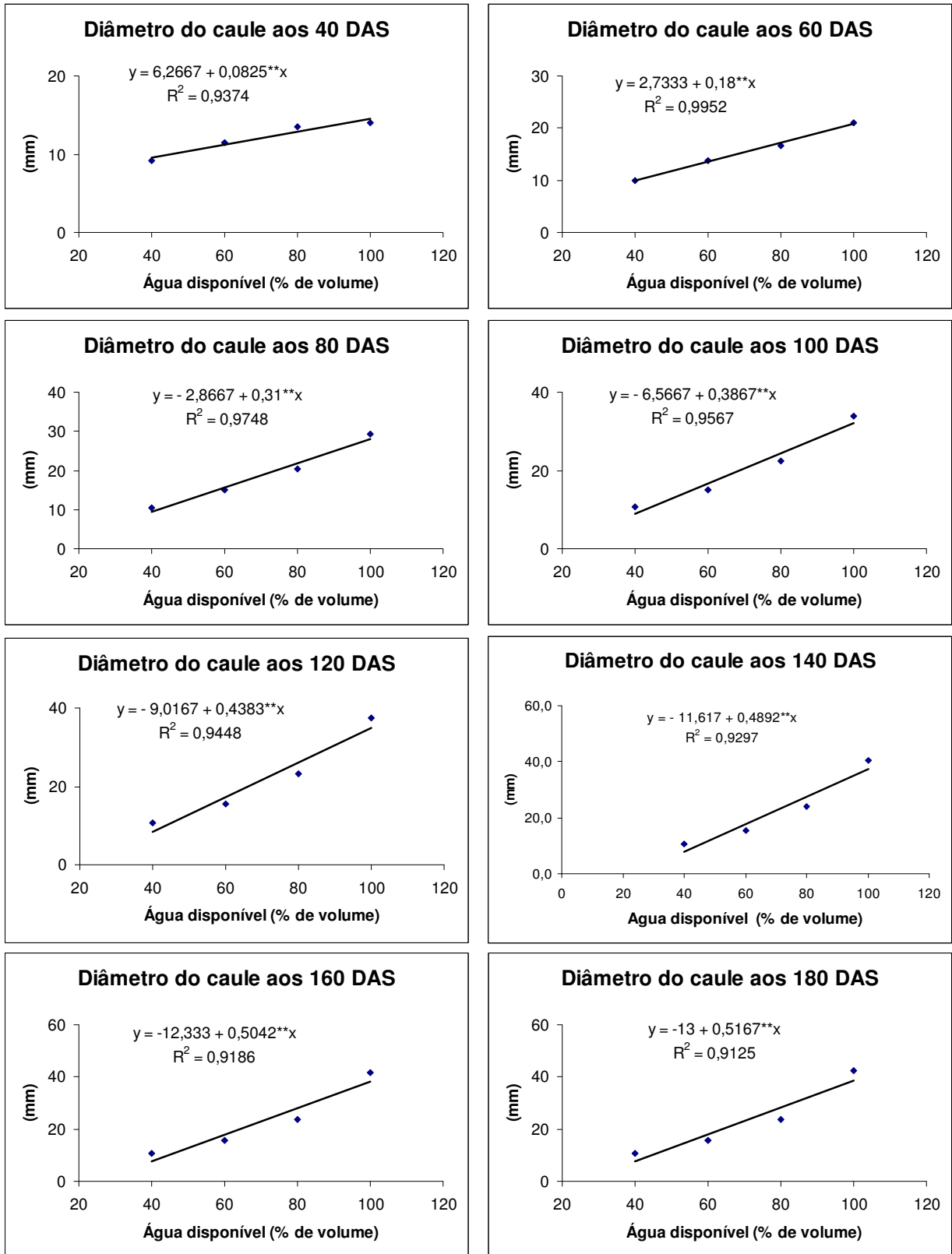


Figura 10 - Diâmetro do caule (DC) de mamona em mm dos 40 aos 180 dias após semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.

4.2.4 - Número de folhas e área foliar

O número de folhas (NF) e, conseqüentemente, as dimensões do aparelho fotossintético (área foliar - AF), dois importantes componentes morfo-fisiológicos, foram levados em conta na análise quantitativa do crescimento das cultivares aqui estudadas, mais precisamente no aprofundamento da investigação sobre as possíveis alterações provocadas no crescimento destas plantas pela diminuição da disponibilidade de água no solo em que foram cultivadas.

Assim como para as variáveis AP, TCAP e DC, no decorrer do experimento foram realizadas contagens do número de folhas e medições do comprimento das nervuras principais das mesmas em 09 diferentes épocas de avaliação (de 20 a 180 DAS), com os dados submetidos à análise de variância, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 8 e 9.

Com relação às cultivares houve diferença estatística significativa apenas em duas situações, sendo ao nível de 5 % de probabilidade ($p \leq 0,05$) para número de folhas (NF) aos 60 DAS e a 1 % de probabilidade ($p \leq 0,01$) para área foliar (AF) aos 160 DAS, com a cultivar Paraguaçu se sobrepondo a Nordestina em número de folhas no primeiro período, ocorrendo o inverso aos 160 DAS, onde a Nordestina apresentou uma área foliar 44 % superior a Paraguaçu. Apesar destas constatações pontuais, os resultados das análises contidas nas tabelas 8 e 9 confirmam a mesma tendência até agora verificada para as variáveis AP, TCAP e DC, ou seja, comportamento similar das cultivares estudadas frente ao estresse hídrico provocado pela diminuição da água disponível no solo.

Ainda na Tabela 8 é possível constatar que o número de folhas por planta sofreu considerável redução à medida que o conteúdo de água no solo foi diminuindo, com exceção apenas para os dados relativos aos 20 DAS, onde o efeito do estresse hídrico ainda não se fazia presente. Para as demais épocas de avaliação (40 a 180 DAS) os resultados apresentaram diferenças significativas ao nível de 1 % de probabilidade ($P \leq 0,01$) para o tratamento água disponível, constatando-se uma elevada superioridade do tratamento cujo solo de suas parcelas foi mantido na capacidade de campo (100% AD).

Tabela 8 - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente à variável **número de folhas** (NF) relativo aos dados obtidos até os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Número de folhas								
		Quadrado médio								
		20 DAS	40 DAS	60 DAS	80 DAS	100 DAS	120 DAS	140 DAS ¹	160 DAS	180 DAS ¹
Cultivares	1	0,00 ^{ns}	13,50 ^{ns}	155,04 [*]	24,00 ^{ns}	20,16 ^{ns}	45,37 ^{ns}	0,09 ^{ns}	12,04 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Água Disponível	3	0,11 ^{ns}	78,83 ^{**}	1217,48 ^{**}	4927,83 ^{**}	3829,61 ^{**}	4787,81 ^{**}	56,11 ^{**}	3974,04 ^{**}	17,73 ^{**}
Regressão Polinomial Linear	-		208,03 ^{**}	3234,40 ^{**}	12979,20 ^{**}	10156,80 ^{**}	12383,00 ^{**}	150,22 ^{**}	9882,67 ^{**}	47,23 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática	-		4,16 ^{ns}	376,04 ^{**}	1802,66 ^{**}	1261,50 ^{**}	1962,04 ^{**}	17,12 ^{**}	3035,04 ^{**}	4,18 ^{**}
Reg. Pol. Cúbica	-		24,30 ^{ns}	42,00 ^{ns}	1,63 ^{ns}	70,53 ^{ns}	18,40 ^{ns}	0,98 ^{ns}	4,40 ^{ns}	1,78 [*]
Interação	3	0,11 ^{ns}	10,83 ^{ns}	19,70 ^{ns}	11,44 ^{ns}	22,72 ^{ns}	56,48 ^{ns}	0,53 ^{ns}	30,04 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Blocos	2	0,66 ^{**}	3,29 ^{ns}	1,62 ^{ns}	13,54 ^{ns}	80,79 ^{ns}	123,79 ^{ns}	0,86 ^{ns}	16,79 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Resíduo	14	0,09	6,05	22,76	24,35	34,64	53,22	0,49	20,36	0,37
CV %		9,75	27,59	28,28	18,33	24,96	29,53	16,60	20,79	18,75
Tratamentos		Médias do número de folhas								
Nordestina		3,16 a	8,16 a	14,33 b	25,91 a	22,66 a	23,33 a	4,17 (23,83) a	21,00 a	3,18 (12,08) a
Paraguaçu		3,16 a	9,66 a	19,41 a	27,91 a	24,50 a	26,08 a	4,29 (26,91) a	23,41 a	3,32 (14,08) a
DMS		0,27	2,15	4,17	4,32	5,15	6,38	0,61	3,95	0,53
40 % de água disponível		3,16	5,00	4,66	4,50	4,00	3,66	1,81 (3,33)	3,50	1,91 (3,66)
60 % de água disponível		3,00	6,66	9,50	7,50	4,83	4,33	1,99 (4,16)	4,00	1,84 (3,50)
80 % de água disponível		3,33	12,00	16,33	29,00	27,83	27,00	4,78 (23,66)	21,00	3,82 (15,00)
100 % de água disponível		3,16	12,00	37,00	66,66	57,66	63,83	8,34 (70,33)	58,33	5,43 (30,16)

GL - grau de liberdade; ¹ – dados transformados em \sqrt{X} ; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$); Os dados apresentados entre parênteses referem-se aos originais sem transformação.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância (ANAVA) referente à **área foliar** (AF) relativo aos dados obtidos até os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Área foliar								
		Quadrado médio								
		20 DAS	40 DAS	60 DAS	80 DAS	100 DAS	120 DAS	140 DAS	160 DAS	180 DAS
Cultivares	1	2583,37 ^{ns}	65521,50 ^{ns}	653400,00 ^{ns}	5104192,66 ^{ns}	12239388,37 ^{ns}	13241747,04 ^{ns}	20264130,66 ^{ns}	28553653,50 ^{**}	5264066,66 ^{ns}
Água Disponível	3	6430,70 ^{ns}	2763753,94 ^{**}	49000920,50 ^{**}	635875175,16 ^{**}	739634076,59 ^{**}	107420331E+0 ^{**}	110215840E+0 ^{**}	612175441,66 ^{**}	945009682,33 ^{**}
Regressão Polinomial Linear	-		7957780,03 ^{**}	121637548,80 ^{**}	1485820337,63 ^{**}	1724230222,00 ^{**}	2409120046,87 ^{**}	2338837425,63 ^{**}	1289342297,63 ^{**}	194417654,70 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática	-		18704,16 ^{ns}	21679004,16 ^{**}	396809072,66 ^{**}	473312898,37 ^{**}	762900332,04 ^{**}	876621762,66 ^{**}	494061152,66 ^{**}	79250272,66 ^{**}
Reg. Pol. Cúbica	-		314777,63 ^{ns}	3686208,53 ^{**}	24996115,20 [*]	21359109,40 [*]	50589560,20 ^{**}	91016017,20 ^{ns}	53122874,69 ^{**}	9834977,63 ^{ns}
Interação	3	585,70 ^{ns}	66989,50 ^{ns}	928848,55 ^{ns}	2596578,77 ^{ns}	11402597,15 ^{ns}	8692659,81 ^{ns}	10961641,44 ^{ns}	13642345,16 ^{ns}	6956059,44 ^{ns}
Blocos	2	10630,54 [*]	85158,79 ^{ns}	192715,79 ^{ns}	484973,29 ^{ns}	6328945,79 ^{ns}	9485218,66 ^{ns}	28565230,91 ^{ns}	5746576,50 ^{ns}	3598331,29 ^{ns}
Resíduo	14	2741,01	121471,31	411554,50	3581225,33	3637207,80	45640004,57	13036385,91	3224601,21	4250669,05
CV %		14,23	26,95	24,26	26,12	25,18	24,71	43,94	29,46	86,13
Tratamentos		Médias da área foliar em cm²								
Nordestina		357,41 a	1345,66 a	2808,91 a	7706,08 a	8289,41 a	9390,08 a	9132,25 a	7186,75 a	1925,50 a
Paraguaçu		378,16 a	1241,16 a	2478,91 a	6783,75 a	6861,16 a	7904,50 a	7303,58 a	5005,25 b	2862,16 a
DMS		45,84	305,17	561,72	1657,00	1669,90	1870,60	3161,45	1572,34	1805,24
40 % de água disponível		338,50	544,16	398,66	298,33	222,50	194,16	146,33	134,16	106,16
60 % de água disponível		350,16	910,16	1212,50	1029,16	609,50	476,50	372,16	277,00	162,66
80 % de água disponível		369,50	1732,50	2174,50	5328,33	5659,33	5542,00	3976,33	2840,66	990,66
100 % de água disponível		413,00	1986,83	6790,00	22323,83	23809,83	28376,50	28376,83	21132,16	8315,83

GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (p ≤ 0,05).

Os gráficos da Figura 11 permitem visualizar bem esta superioridade, observando-se que as plantas cujo solo nos vasos foi mantido a 100 % de água disponível chegaram a apresentar, aos 140 DAS (período de maior concentração de folhas), um quantitativo de folhas 92 % superior para a cultivar Nordestina em relação ao tratamento mantido a 40 % de água disponível e de 93 % para os mesmos tratamentos no caso da cultivar Paraguaçu. Situação semelhante foi encontrada por Araújo e Ferreira (1997) ao submeter plantas de amendoim, oleaginosa também de grande expressão econômica, a diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo.

Os valores médios na última etapa da avaliação (180 DAS), indicam que a cultivar Nordestina quando conduzida fora do estresse hídrico (a 100% AD) apresentou um número de folhas 10 vezes superior em relação às plantas cultivadas no solo com menor conteúdo de água (40 % AD); esta diferença foi de 11 vezes para a cultivar Paraguaçu. A redução do número de folhas com o tempo deve-se a que nesta época (180 DAS) as plantas apresentavam uma acentuada queda de folhas devido ao processo natural de senescência e uma considerável carga de frutos em fase de enchimento e de amadurecimento.

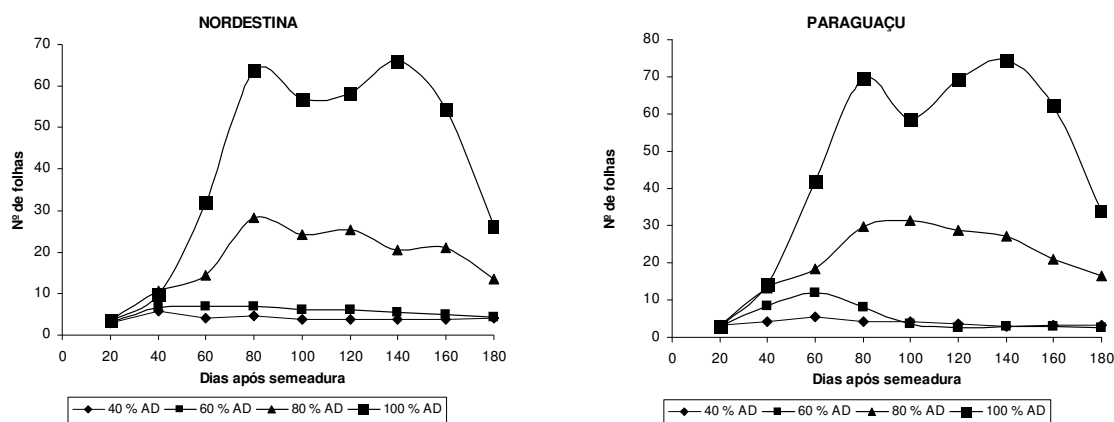


Figura 11 - Representação gráfica da distribuição do número de folhas por tratamento e por cultivar em diferentes períodos de determinação.

A susceptibilidade das cultivares ao estresse hídrico evidencia-se de forma tão acentuada para esta variável, dada a constatação de que as plantas conduzidas no solo onde o nível de água disponível foi de 80 % apresentaram uma redução média do número de folhas em torno de 42,3 % nas avaliações feitas entre 60 e 180 DAS, chegando a 50,0 % neste último período quando comparadas as plantas conduzidas com 100 % de água disponível. É

importante notar ainda que os tratamentos submetidos aos menores níveis de água disponível (40 e 60 % de AD) começaram a apresentar redução no número de folhas já a partir dos 60 DAS, exatamente ao contrário das plantas submetidas aos maiores níveis de água disponível (80 e 100 % de AD), que por sua vez neste mesmo período apresentaram um dos maiores índices de folhas (Figura 11).

A Figura 12 apresenta o número de folhas (NF) das cultivares de mamona dos 40 aos 180 DAS em função dos diferentes níveis de água no solo. A análise desta figura permite ainda identificar, através das curvas relacionadas aos tratamentos de 80 e 100 % de água disponível, um decréscimo acentuado na quantidade de folhas de ambas cultivares no período de 80 a 100 DAS, o que coincide com a fase do ciclo onde 18 das 24 parcelas estavam com suas plantas em formação de inflorescência ou enchimento dos frutos dos primeiros racemos. Por outro lado, as plantas mantidas em solo com 100 % de água disponível, neste primeiro pique de produção de folhas (aos 80 DAS), superaram em 7,46 vezes o número médio de folhas computadas por Cavalcanti (2003) em plantas de Nordeste irrigadas com água similar a utilizada neste experimento e conduzidas sem estresse hídrico. Situação ainda mais favorável ocorreu com relação aos dados obtidos por Silva (2004), que por sua vez, conduzindo plantas da cultivar Paraguaçu nas mesmas condições de Cavalcanti (2003), obteve um índice de número de folhas 11,43 vezes menor que os resultados obtidos no presente ensaio.

As análises de regressão para o número de folhas (NF), suas equações e respectivas representações gráficas para o fator quantitativo água disponível, encontram-se na Tabela 08 e na Figura 12. Verifica-se nestes gráficos que a mamona apresentou comportamento linear com relação à emissão de folhas nos períodos de 40, 60, 140 e 180 DAS e tendência quadrática para o período de 80 a 120 DAS e aos 160 DAS, caracterizando bem o comportamento flutuante visualizado através da Figura 11, onde em determinadas épocas do ciclo, sob condições ideais de fertilidade e disponibilidade de água, a cultura aumenta ou diminui a sua produção de folhas em função de suas demandas fisiológicas.

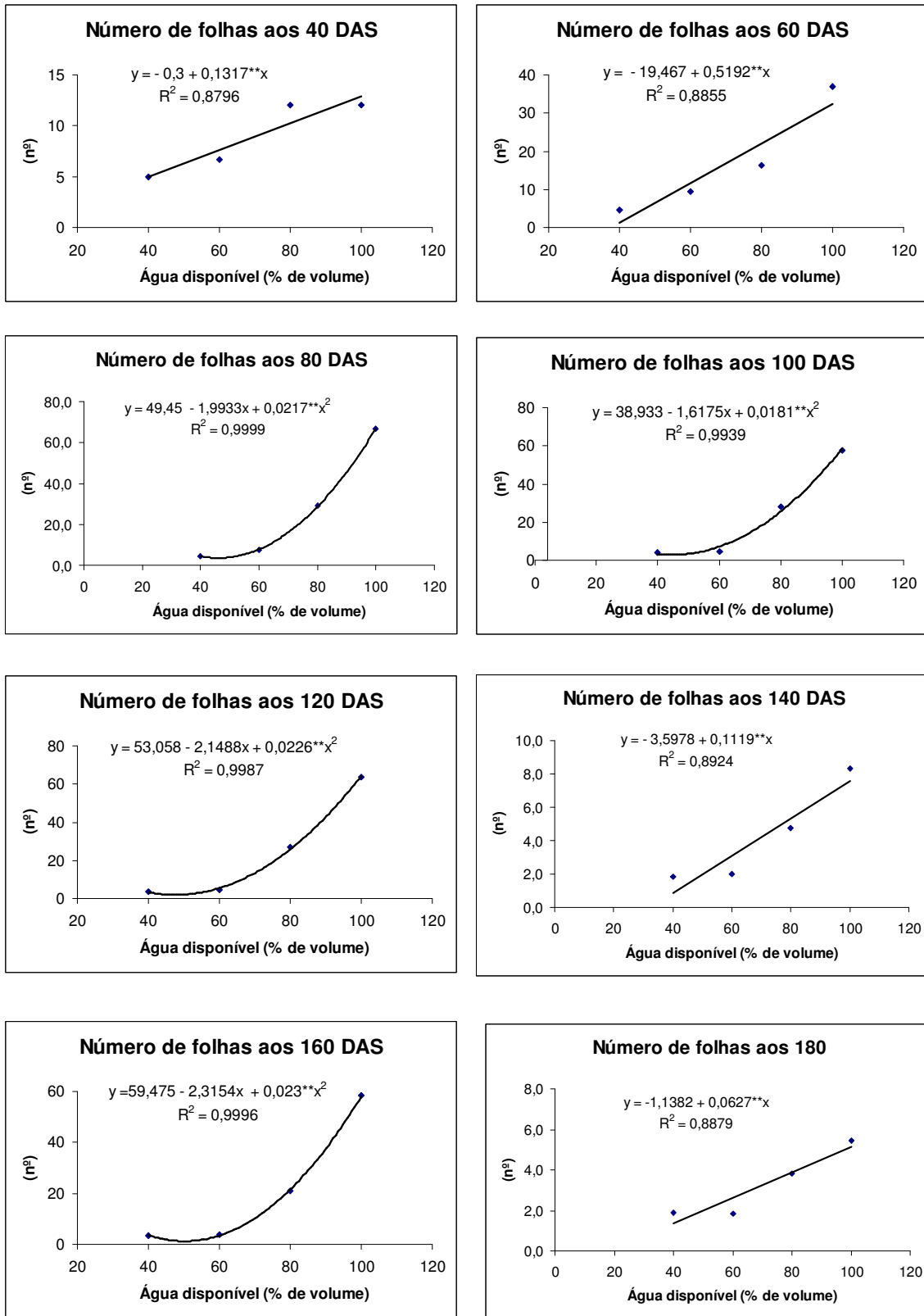


Figura 12 - Número de folhas (NF) de mamona dos 40 aos 180 dias após semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.

No que diz respeito à área foliar, os dados apresentados no resumo da análise de variância da Tabela 9, permitem constatar que houve diferença estatística ao nível de 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$) apenas para o período de 160 DAS, época em que todas as plantas apresentaram uma acentuada perda de folhas, com a cultivar Nordeste mantendo uma área foliar 44 % superior a Paraguaçu; da mesma forma que nas demais avaliações, este é um dado isolado, uma vez que, para as demais épocas de avaliação, inclusive o período seguinte (180 DAS), esta diferença não se mostrou estatisticamente significativa. Por outro lado, analisando-se os resultados das médias absolutas de Nordeste e Paraguaçu, percebe-se que se revezaram constantemente, alternando-se em termos de uma maior ou menor área foliar ao longo do experimento, apresentando mais uma vez comportamentos muito semelhantes quando submetidas ao estresse hídrico.

Para o fator quantitativo Água disponível, os resultados da análise de variância apresentados na Tabela 9, permitem constatar diferenças significativas ao nível de 1 % de probabilidade ($p \leq 0,01$) para todas as épocas de avaliação, com exceção apenas da análise feita aos 20 DAS.

Nota-se extrema superioridade do tratamento nos solos cujo conteúdo de água foi mantido na capacidade de campo (100 % AD) em relação aos demais tratamentos (40, 60 e 80 % AD), principalmente a partir dos 60 DAS, de forma que, quanto menor o conteúdo de água no solo, mais precocemente aparecem reduções significativas na área foliar. Segundo Fageria (1989), em situações de estresse hídrico, a grande maioria dos vegetais buscam alternativas para diminuir o consumo de água reduzindo principalmente a transpiração, e dentro das adaptações mais conhecidas tem-se a redução da área foliar através da diminuição da quantidade de folhas, diminuindo conseqüentemente as perdas de água por transpiração. Já para Benincasa (1988), o declínio da área foliar à medida que as plantas se desenvolvem, também pode ser decorrente da interferência das folhas superiores sobre as inferiores (auto sombreamento), o que provocaria a diminuição da área foliar a partir de determinada fase do ciclo fenológico da cultura.

Observou-se, portanto, perda progressiva de área foliar já a partir dos 60 DAS, indo até o final do experimento para os tratamentos mantidos a 40 % de água disponível no solo; esta perda progressiva também foi constatada nas plantas conduzidas a 60 % de água disponível a partir dos 80 DAS e dos 120 DAS para as plantas cultivadas com 80 % de AD.

Por outro lado, as plantas sem estresse hídrico só apresentaram redução de sua área foliar no antepenúltimo intervalo da avaliação, ou seja, dos 140 para os 160 DAS, época em que o processo natural de senescência já se fazia presente em todos os tratamentos, evidenciando mais uma vez a sensibilidade destas cultivares a reduções do conteúdo de água no solo.

Aos 140 DAS, época de maior concentração de área foliar das plantas conduzidas sem estresse hídrico, as médias deste tratamento (28.376, 83 cm²) superaram as de 80 % de água disponível em 7,13 vezes, que por sua vez já se apresentavam superior ao menor tratamento (40 % de AD) em 27,17 vezes. Estes resultados diferem dos obtidos por Coelho (2006), que para a mesma época de avaliação (140 DAS), também em ambiente protegido, conduzindo plantas da cultivar Nordeste sem estresse hídrico ou salino obteve uma área foliar de 10.764,7 cm² e de Rodrigues et al. (2006 b), que obteve área foliar média aos 136 DAS de 17.500 cm² para estas mesmas cultivares irrigadas com lâmina equivalente a reposição de 1,05% da ETc.

Na Figura 13 são apresentadas as regressões com suas respectivas curvas e equações para as diferentes épocas de avaliação da área foliar, constatando-se que para o período de 40 DAS temos um efeito linear no crescimento da área na ordem de 0,13 cm² para cada percentual unitário de água disponível no solo, passando para um efeito quadrático na etapa seguinte de avaliação (60 DAS), assumindo finalmente um comportamento polinomial cúbico a partir dos 80 DAS e assim permanecendo até os 180 DAS.

Apesar da significância ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) para as equações apresentadas nos gráficos das áreas foliares aos 80 e 100 DAS (Figura 13), em detrimento a uma maior significância apresentada pelas equações lineares e quadráticas em ambos os casos (Tabela 9), as curvas exibidas foram escolhidas por representarem melhor a situação vivenciada durante a condução da cultura. Desta mesma forma, assim foi feito para os gráficos das etapas de 140 e 180 DAS, cujas equações exibidas apresentam-se não significativas frente as demais.

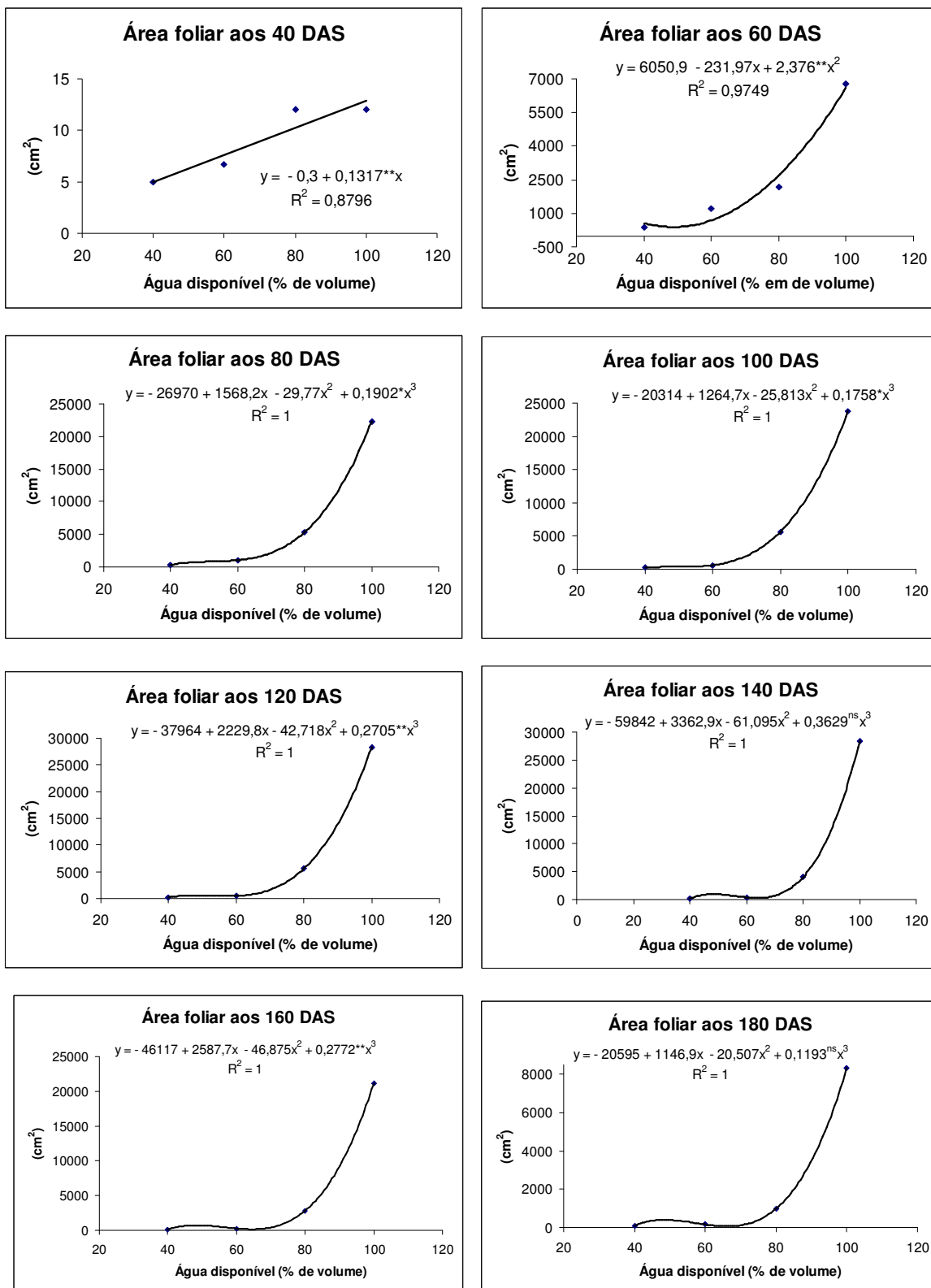


Figura 13 - Área foliar (AF) de mamona em cm^2 dos 40 aos 180 dias após semeadura (DAS) em função de diferentes níveis de água no solo.

Nota-se que para as etapas da avaliação de 140 a 180 DAS, a variação dentro dos próprios tratamentos foi tão intensa que os CV's apresentam-se altos, fora dos padrões aceitáveis (Tabela 9). Tais distorções podem ter origem nas mais diversas influências que esta variável de crescimento tende a sofrer, uma vez que dentro de um mesmo tratamento de plantas, em geral, cada uma delas responde de forma bem particular ao conteúdo de água existente no solo, seja pela complexidade inerente a relação de espaço e tempo envolvido no processo, seja pelo crescimento próprio e desordenado de suas raízes (REICHARDT e TIMM, 2004). Por outro lado, a quantidade de água absorvida depende tanto da habilidade desenvolvida por essas raízes para capturá-la, como também das propriedades do solo no fornecimento e transmissão desta água até as raízes em proporções que satisfaçam as exigências da transpiração da planta e conseqüentemente da formação de sua área foliar.

Por fim é importante enfatizar que a interação entre os fatores Cultivares x Água disponível não apresentou diferença estatística significativa para as duas variáveis (NF e AF), denotando-se independência entre os mesmos.

4.2.5 - Número de dias para emissão da 1ª inflorescência, altura de emissão da 1ª inflorescência e número de inflorescências emitidas

Estudando-se a variável “dias para emissão da 1ª inflorescência” (NDEI) constata-se que não houve diferença significativa para o fator água disponível (AD), registrando-se, entretanto, diferença estatística significativa ao nível de 1% de probabilidade para o fator Cultivares (Tabela 10). É importante ressaltar que as plantas conduzidas em vasos cujo solo foi mantido a 40 % de água disponível não chegaram a emitir inflorescências.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância referente ao **número de dias para emissão da 1ª inflorescência (NDEI), altura de emissão da 1ª inflorescência (AEI) e número de inflorescências emitidas (NIE)** pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		Nº de dias para emissão da 1ª inflorescência	Altura da emissão da 1ª inflorescência	Nº de inflorescências emitidas ¹
Cultivares	1	600,88 **	144,50 **	0,27 ^{ns}
Água Disponível	2	16,66 ^{ns}	464,22 **	5,26 **
Regressão Polinomial Linear		-	768,00 **	10,28 **
Reg. Pol. Quadrática		-	160,44 **	0,24 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica		-	00,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Interação	2	21,55 ^{ns}	200,66 **	0,21 ^{ns}
Blocos	2	88,66 ^{ns}	4,22 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Resíduo	10	50,13	7,28	0,10
CV %		15,85	7,56	17,70

Tratamentos	Médias		
	Nº de dias	Altura em cm	Nº de inflorescências
Nordestina	50,50 a	38,55 a	1,71 (3,66) a
Paraguaçu	39,00 b	32,88 b	1,96 (4,55) a
DMS	7,34	2,83	0,34
60 % de água disponível	43,00	29,83	1,00 (1,00)
80 % de água disponível	45,00	31,50	1,67 (3,16)
100 % de água disponível	46,00	45,83	2,85 (8,16)

GL - grau de liberdade; ¹ – dados transformados em \sqrt{x} ; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (^{ns}) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$); Os dados apresentados entre parênteses referem-se aos originais sem transformação.

Os resultados obtidos para ambas as cultivares mostram que a Paraguaçu apresentou-se precoce para esta variável quando comparada a Nordestina, resultados que contradizem as informações existentes para Nordestina citadas por Beltrão (2003) e Carvalho (2005), para os quais a ocorrência da emissão da 1ª inflorescência para esta cultivar ocorre próximo aos 50 dias após germinação (Tabela 1). No presente estudo o valor médio para emissão desta 1ª inflorescência para a cultivar Nordestina foi de 50,5 dias após semeadura (DAS), logo, tomando-se como base que as primeiras sementes começaram a germinar com 06 dias,

teríamos que computar a emissão da 1ª inflorescência, em média, aos 44 dias; no que se refere a Paraguaçu os dados são ainda mais discrepantes, com a emissão da 1ª inflorescência ocorrendo em média aos 39 dias após a semeadura (DAS), ou seja, 33 dias após a germinação das primeiras sementes, ficando portanto, muito abaixo das referências apresentadas pela EMBRAPA (2002) e Carvalho (2005) de 54 dias para emissão da 1ª inflorescência após germinação e ainda mais longe dos 60 e 69 dias após semeadura, respectivamente registrados por Silva (2004) e Lacerda (2006), em ensaios conduzidos com água de abastecimento e plantas em condições satisfatórias de salinidade e de disponibilidade de água no solo.

A surpreendente precocidade temporal (característica importante e desejável do ponto de vista agrônomo nas espécies vegetais) apresentada pela cultivar Paraguaçu neste ensaio para emissão da sua 1ª inflorescência, ocorrendo inclusive sem diferenças significativas quanto à disponibilidade de água no solo, necessita de um estudo mais específico a ser desenvolvido em outros trabalhos similares onde a questão possa ser aprofundada e melhor investigada.

A variável “altura da emissão da 1ª inflorescência” (AEI) apresentou diferença estatística significativa ao nível de 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$) tanto para “cultivares”, quanto para “disponibilidade de água” no solo e para interação C x AD, cujo resumo da análise de variância pode ser encontrada na Tabela 10. A cultivar Paraguaçu emitiu sua primeira inflorescência em média a 32,88 cm de altura, enquanto que na Nordestina esta emissão ocorreu a 38,55 cm.

No que se refere ao fator “água disponível”, na Tabela 11 são apresentados os dados de desdobramento da interação Cultivar x Água disponível aonde as plantas de Nordestina conduzidas na capacidade de campo (100% AD) apresentam uma diferença 35 % superior na altura de emissão de sua 1ª inflorescência (55,33 cm) em relação ao mesmo tratamento na cultivar Paraguaçu (36,33cm), distanciando-se ainda mais dos tratamentos cujo conteúdo de água do solo permaneceu entre 80 e 60 % de água disponível. Diferentemente disto, verifica-se que as plantas de Paraguaçu, conduzidas sem estresse hídrico, não apresentaram diferença estatística significativa para os demais tratamentos, ou seja, a quantidade de água disponível para este cultivar não influenciou na altura da emissão de sua 1ª inflorescência.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância referente ao desdobramento da **variável altura de emissão da 1ª inflorescência** (AEI) pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		Nordestina	Paraguaçu
Água Disponível	2	634,11 **	30,77 ^{ns}
Regressão Polinomial Linear		988,16 **	-
Reg. Pol. Quadrática		280,05 **	-
Reg. Pol. Cúbica		0,00 ^{ns}	-
Blocos	2	4,77 ^{ns}	1,58 ^{ns}
Resíduo	6	8,11	2,11
CV %		7,39	9,01
Tratamentos		Médias das alturas em cm para emissão da 1ª inflorescência	
60 % de água disponível		29,66	30,00
80 % de água disponível		30,66	32,33
100 % de água disponível		55,33	36,33

GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação.

Azevedo et al. (1997), estudando diversas linhagens e cultivares avançadas de mamona no Nordeste brasileiro, chegaram a encontrar resultados quatro vezes superiores para altura da 1ª inflorescência comparando-se com os dados encontrados para Nordestina no presente ensaio e até quatro vezes e meia para Paraguaçu. Lacerda (2006), em condições semelhantes de disponibilidade de água no solo registrou uma altura média de emissão da 1ª inflorescência 50 cm acima da encontrada neste ensaio com plantas da cultivar Paraguaçu. Os resultados confirmam a precocidade já registrada para esta cultivar quando da apresentação dos dados referentes ao tempo para emissão da 1ª inflorescência.

A Figura 14 mostra o comportamento linear da emissão da 1ª inflorescência em função da água disponível para a cultivar Nordestina, bem como a equação que melhor representa esta regressão, constatando-se um acréscimo de 0,64 cm na altura de emissão a cada valor unitário em percentagem de volume de água disponível no solo.

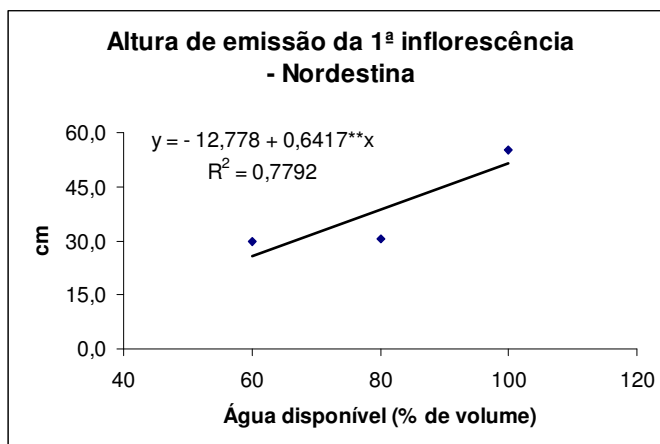


Figura 14 - Altura da emissão da 1ª inflorescência (AEI) da cultivar de mamona Nordestina em cm em função de diferentes níveis de água no solo.

Quando a variável estudada foi a “quantidade de inflorescências emitidas”, não se registrou diferenças significativas entre as cultivares, entretanto, para o fator água disponível o efeito foi altamente significativo ($p \leq 0,01$), uma vez que, com a diminuição do conteúdo de água no solo tem-se uma queda acentuada no número de inflorescências, com as plantas que foram mantidas em solo com 100 % de AD produzindo, em média, 08 inflorescências, quantitativo bem superior aos tratamentos de 80 e 60 %, que produziram em média, respectivamente, apenas 03 e 01 inflorescências (Tabela 10).

O quantitativo médio de 08 inflorescências produzidas pelas plantas conduzidas na capacidade de campo é classificado como alto por Nóbrega et al. (2001), superando as estimativas de Carvalho (2005) e EMBRAPA (2002) para Nordestina de 05 a 07 racemos por planta, ao mesmo tempo em que confirma a expectativa para Paraguaçu de 07 a 08 racemos por planta. Constatações similares foram encontradas por Koutroubas et al. (2000) ao pesquisarem o efeito de um aporte de água maior através da irrigação em áreas onde antes só havia contribuições hídricas das chuvas, sobre duas cultivares de mamona em regiões semi-áridas do mediterrâneo, concluindo que a suplementação hídrica fornecida contribuiu consideravelmente para aumentar o número de inflorescências.

No gráfico da Figura 15 é possível visualizar o comportamento linear das cultivares no que se refere à produção de inflorescências quando conduzidas sob diferentes conteúdos de água no solo, apresentando equação de regressão altamente significativa.

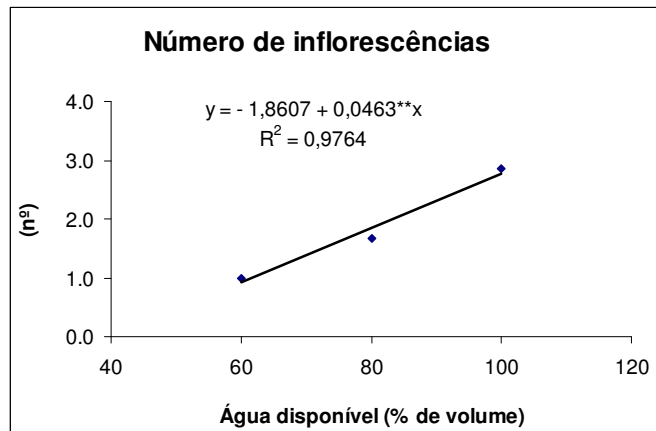


Figura 15 - Número de inflorescências emitidas (NIE) pelas cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo.

4.2.6 - Fitomassa

Os dados de fitomassa (FT) para os tratamentos e análise de variância encontram-se na Tabela 12. A análise estatística permite verificar que não houve diferença significativa entre as cultivares e para interação Cultivares x Água Disponível (C x AD). O efeito dos níveis de água disponível no solo foi altamente significativo ($p \leq 0,01$).

Analisando-se a Tabela 12 constata-se que a produção de matéria seca foi afetada pelos tratamentos quando o conteúdo de água no solo manteve-se nos níveis de 60 e 40 % de água disponível, obtendo-se produções muito baixas quando comparadas com o tratamento conduzido com 100 % de AD, equivalentes, respectivamente, a menos de 4 e de 1 % da matéria seca produzida pelo tratamento conduzido sem estresse hídrico; seguindo a mesma tendência das demais variáveis analisadas, a sensibilidade das cultivares ao estresse hídrico fica ainda mais evidenciada quando se constata que as plantas mantidas a 80 % de AD chegaram a produzir uma quantidade 5,4 vezes menor do que as plantas conduzidas no solo na capacidade de campo.

Tabela 12 - Resumo da análise de variância referente aos dados da **fitomassa** (FT) produzida pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Fitomassa
		Quadrado médio
Cultivares	1	177,94 ^{ns}
Água disponível	3	2550384,63 ^{**}
Regressão Polinomial Linear		2855251,91 ^{**}
Regressão Polinomial Quadrática		902776,16 ^{**}
Regressão Polinomial Cúbica		88379,92 [*]
Regressão Exponencial		126181,95 ^{**}
Interação	3	8726,45 ^{ns}
Blocos	2	61164,54 ^{ns}
Resíduo	14	8657,32
CV %		21,68
Tratamentos		Médias dos pesos em (g)
Nordestina		431,74 a
Paraguaçu		426,29 a
DMS		81,38
40 % de água disponível		11,15
60 % de água disponível		53,06
80 % de água disponível		258,41
100 % de água disponível		1393,45

GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$).

A produção média de fitomassa obtida para o tratamento cujas plantas foram conduzidas em solos mantidos a 100 % de água disponível (1.393,45 g), apresenta-se muito acima dos resultados alcançados com Paraguaçu por Silva (2004), que em ausência de estresse hídrico ou salino, obteve em 150 dias de cultivo peso médio de 246,72 g de matéria seca; Coelho (2006), por sua vez conduzindo a Nordestina – com ou sem adição de matéria orgânica e sem estresse hídrico ou salino – também aos 150 dias, registrou um peso médio de 727,9 g e Rodrigues et al. (2006 c), que para o mesmo tempo de determinação (150 dias) obteve médias de peso para matéria seca em Nordestina de 190,21 g e de 170,62 g em Paraguaçu, com todas

as plantas irrigadas a um nível de reposição de 1,05 da evapotranspiração da cultura. Em todos estes casos os cultivos também foram realizados em ambientes protegidos.

No tocante a relevante produção de fitomassa obtida no tratamento conduzido sem estresse hídrico (100 % de AD), com reflexo na distribuição e armazenamento de assimilados nos diversos órgãos das plantas da mamoneira (BENINCASA, 1988), observa-se nesta variável um excelente indicador de boa eficiência no consumo da água disponível no solo pelas cultivares utilizadas, como pode-se verificar na seqüência deste estudo.

A variação da matéria seca (g) com a água disponível no solo é apresentada graficamente na figura 16 para todo período da condução do experimento (180 dias).

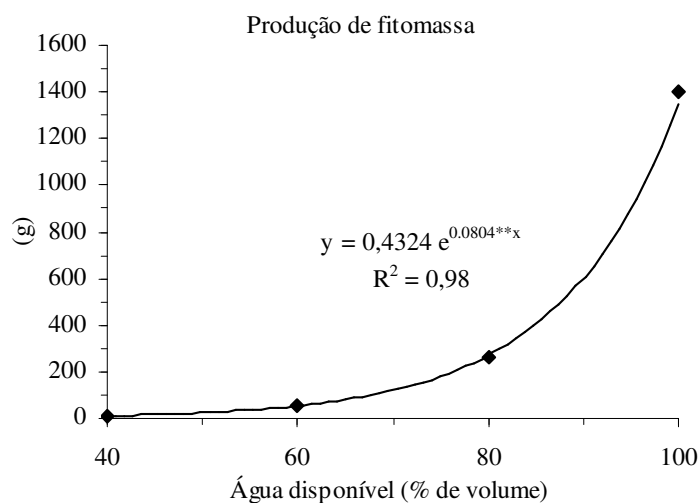


Figura 16 - Fitomassa (FT) produzida pelas cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo.

4.2.7 - Relação Raiz / Parte Área (R/PA)

A produção da matéria orgânica e sua distribuição nos diversos órgãos da planta ao longo do ciclo fenológico e a relação alométrica entre o crescimento das raízes e das partes áreas das plantas (MAGALHÃES, 1979), são consideradas importantes indicadores ecológicos e morfogenéticos. Esta relação indica o nível de contribuição das reservas armazenadas no sistema radicular no favorecimento do crescimento da parte área, se tornando

um parâmetro de grande relevância em estudos que envolvem análise do comportamento de plantas quando submetidas a estresse hídrico.

A Tabela 13 apresenta o resumo da análise de variância para os dados obtidos a partir da relação entre a fitomassa produzida tanto pelas raízes como pelas partes aéreas das cultivares de mamona Nordeste e Paraguaçu durante os 180 dias de duração do experimento. A análise dos dados nos permite constatar que não houve diferença estatística significativa entre as cultivares para relação Raiz/Parte Aérea (R/PA), que por sua vez também não foi afetada significativamente pela redução da disponibilidade de água no solo; de modo geral, podemos afirmar que esta relação manteve-se no mesmo patamar para todos os tratamentos estudados, ou seja, o déficit hídrico afetou por igual tanto o sistema radicular como a parte aérea da planta.

Tabela 13 - Resumo da análise de variância referente aos dados da **relação Raiz / Parte Aérea**¹ (R/PA) apresentada pelas cultivares de mamona Nordeste (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Raiz / Parte Aérea
		Quadrado médio
Cultivares	1	0,0008 ^{ns}
Água disponível	3	0,0011 ^{ns}
Interação	3	0,0000 ^{ns}
Blocos	2	0,0002 ^{ns}
Resíduo	14	0,0008
CV %		2,63
Tratamentos		Médias para a relação em g.g⁻¹
Nordestina		1,086 (0,18) a
Paraguaçu		1,074 (0,15) a
DMS		0,025
40 % de água disponível		1,066 (0,20)
60 % de água disponível		1,072 (0,17)
80 % de água disponível		1,084 (0,15)
100 % de água disponível		1,097 (0,13)

¹ - Dados transformados em $\sqrt{X + 1}$; GL - grau de liberdade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – Diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$); Os dados apresentados entre parênteses referem-se aos originais sem transformação.

Desta mesma forma a interação entre os fatores Cultivares x Água disponível também não apresentou diferença estatística significativa denotando-se plena independência entre os mesmos.

Os resultados observados na Tabela 13 indicam que as plantas destas cultivares de mamona não apresentaram adaptações no seu sistema radicular, nem tão pouco nas suas estruturas aéreas, como forma de superar o déficit hídrico proporcionado pelos níveis mais baixos de água no solo; trabalhando com plantas de algodão, submetidas a diferentes conteúdos de água disponível no solo (03, 23, 43 e 63 % de AD) resultados contrários foram obtidos por Pereira (1995) para duas variedades desta oleaginosa (CNPA 7H e PRECOCE 1), com as plantas produzindo uma massa radicular maior que a da parte aérea a baixos conteúdos de água no solo. Araújo e Ferreira (1997), constataram uma redução no crescimento da parte aérea de plantas de amendoim em relação a raiz quando submetidas a condições severas de déficits hídricos. No que se refere ao índice médio de $0,13 \text{ g g}^{-1}$ alcançado para a R/PA pelas plantas mantidas a 100 % AD para os 180 dias de cultivo, Cavalcanti (2003) em trabalhos com Nordesteira conduzidas sob estresse salino, obteve valor bem acima deste ($0,29 \text{ g g}^{-1}$) para um período de apenas 80 dias de cultivo.

4.2.8 - Consumo e eficiência do uso de água

Na Tabela 14 encontram-se as análises de variância do consumo total (CTA) e da eficiência do uso de água (EUA), esta última obtida pela razão entre a produção de matéria seca e o volume de água consumida, na qual verifica-se que não houve diferença significativa entre as cultivares nem tão pouco para interação C x AD; entretanto, constata-se diferenças altamente significativas ($p \leq 0,01$) para os tratamentos onde variou-se o conteúdo de água do solo. Para uma melhor avaliação do comportamento destas cultivares no que se refere a eficiência do uso de água, apresentamos estes dados, bem como dos conteúdos de água mantidos no solo, em separado na Tabela 15.

A análise dos dados da Tabela 15 permite constatar que a eficiência de uso da água aumentou com o volume de água aplicado na irrigação, obtendo-se o maior índice de eficiência no tratamento com nível mais alto de água disponível; ou seja, as plantas apresentaram uma maior capacidade de reverter o volume de água consumido em produção de

matéria seca à medida que o conteúdo de água no solo foi aumentando. Situações contrárias a esta foram observadas por Barreto et al. (1994) e Pereira (1995), que em estudos com a oleaginosa algodão, cultivares CNPA 6H, CNPA 7H e CNPA Precoce 1, obtiveram resultados onde a maior eficiência de uso de água se deu no nível mais baixo de água disponível no solo. Por outro lado, Silva e Beltrão (2000), em trabalhos com a cultivar de amendoim BR 1 e Lacerda (2006) com a cultivar de mamona Paraguaçu, também constataram que a eficiência no uso da água consumida por estas oleaginosas foi maior quando estas plantas foram conduzidas no nível mais alto de disponibilidade de água no solo.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância referente ao **consumo total de água** (CTA) e **eficiência do uso de água** (EUA) pelas cultivares de mamona Nordeste (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio	
		Consumo total de água	Eficiência do uso de água
Cultivares	1	1,43 ^{ns}	0,0486 ^{ns}
Água disponível	3	272695,17 ^{**}	7,2250 ^{**}
Regressão Polinomial Linear		317871,01 ^{**}	10,5924 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática		82399,29 ^{**}	0,2324 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica		8362,89 [*]	0,0046 ^{ns}
Interação	2	618,33 ^{ns}	0,1035 ^{ns}
Blocos	2	193,97 ^{ns}	0,25 ^{ns}
Resíduo	10	669,82	0,1414
CV %		14,05	26,57
Tratamentos	Médias		
	Volume em litros (l)	g.l⁻¹	
Nordestina	184,32 a	1,37 a	
Paraguaçu	183,83 a	1,46 a	
DMS	22,63	0,32	
40 % de água disponível	36,91	0,30	
60 % de água disponível	63,41	0,83	
80 % de água disponível	138,72	1,72	
100 % de água disponível	497,24	2,80	

GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$).

Tabela 15 - Valores da eficiência do uso de água por cultivar em função dos conteúdos de água disponível no solo.

Tratamento	Cultivares	
	Nordestina	Paraguaçu
	kg m ⁻³	kg m ⁻³
40 % de água disponível	0,33	0,28
60 % de água disponível	0,84	0,82
80 % de água disponível	1,48	1,97
100 % de água disponível	2,83	2,78
Médias	1,37	1,46

Constata-se ainda pela análise da Tabela 15 que as plantas que foram conduzidas no nível de 100 % de AD no solo superaram em 3,4 vezes as plantas que foram mantidas em parcelas com 60 % de AD, no que se refere a conversão da água consumida em produção de matéria seca, o que confirma a afirmação de Doorenbos e Pruitt (1977), que dizem que variedades comprovadamente produtivas, quando manejadas num patamar ótimo de disponibilidade de água e que recebam, no momento oportuno, os insumos necessários à produção agrícola, podem apresentar rendimentos até 04 vezes superiores aquelas que, mesmo com os demais insumos disponibilizados, são submetidas a estresse hídrico. Estes mesmos autores frisam que determinadas culturas só apresentam rendimentos aceitáveis quando a umidade do solo se mantém em um elevado nível, em geral, acima de 50 % de água disponível; no caso das cultivares de mamona em estudo, observa-se que a exigência é ainda maior, com os rendimentos consideráveis aparecendo a partir de 80 % de AD do solo, comprovando a elevada exigência da cultura.

Considerando-se o volume total de água consumida em cada tratamento pela área aproximada de cada vaso [$3,14 \times (50)^2 / 4$] foi possível determinar o consumo expresso em lâmina ($L = V/A$) de água aplicada, sendo respectivamente: 188 mm para o tratamento mantido a 40 % de AD, 323 mm para 60 % de AD, 707 mm correspondente a 80 % de AD e 2534 mm para os tratamentos conduzidos sem estresse hídrico (100 % de AD), com média de consumo para ambas as cultivares de 940 mm ao longo do ciclo de cultivo.

A representação gráfica das regressões obtidas para o consumo de água (ℓ) e eficiência de uso de água ($g \ell^{-1}$) das cultivares durante todo período da condução do experimento (180 dias) pode ser visualizada na Figuras 17 a seguir.

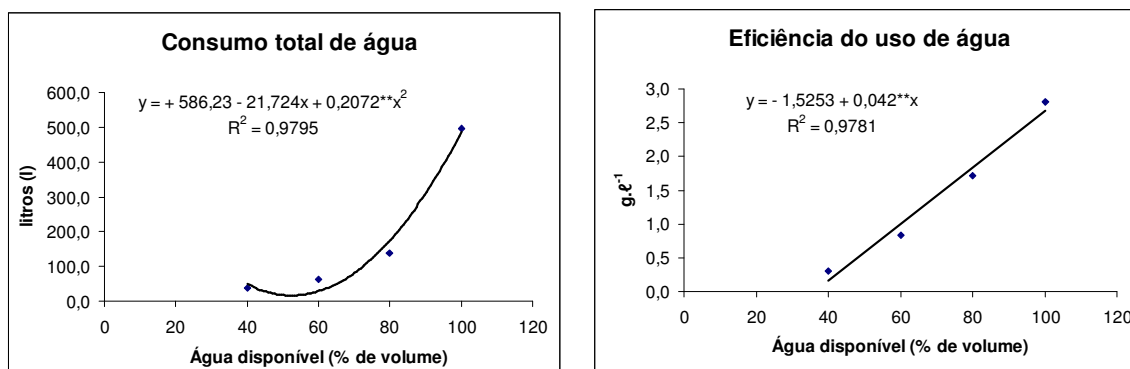


Figura 17 - Consumo total de água (CTA) e eficiência do uso da água (EUA) apresentados pelas cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo.

As equações apresentadas na Figura 17 refletem o comportamento polinomial quadrático para o consumo total de água e linear para a eficiência do uso pelas cultivares estudadas, obtendo-se um ganho $0,042 \text{ g } \ell^{-1}$ para cada incremento unitário em percentual de volume de água disponível no solo, valor muito próximo do registrado por Lacerda (2006) para cultivar Paraguaçu que foi de $0,049 \text{ g } \ell^{-1}$, também submetida a diferentes níveis de água no solo.

Os índices de eficiência de consumo de água alcançados pelos tratamentos mantidos a 100 % AD (2,83 kg de matéria seca por cada m^{-3} de água para Nordestina e $2,78 \text{ kg } \text{m}^{-3}$ para Paraguaçu), indicam um potencial altamente produtivo para ambas as cultivares, que se apresentam sensíveis em sua resposta à água, quando associado a um manejo adequado, concomitante a utilização dos demais insumos necessários ao pleno desenvolvimento da cultura, transformando de forma eficiente os investimentos nestes insumos em produção efetiva de matéria seca, redundando, conseqüentemente, em um maior potencial de produção de frutos por área cultivada, conforme descrevem Doorenbos e Kassam (1979) para o efeito da água sobre o rendimento das culturas. Para estes autores, a busca de rendimentos elevados, principalmente em áreas irrigadas, exige o cultivo de espécies altamente produtivas como é o caso da mamona, as quais propiciam significativas respostas à aplicação da água, alcançando-se níveis ótimos de eficiência de utilização deste insumo em função do rendimento colhido.

4.2.9 - Teores de macro e micronutrientes em folhas, caules e raízes

4.2.9.1 - Macronutrientes presentes nas folhas, caules e raízes

Na Tabela 16 encontram-se as análises de variância referente aos teores de macronutrientes presentes nas folhas das plantas colhidas no final do experimento, na qual verifica-se que houve diferença estatística significativa entre as cultivares apenas para o elemento magnésio (Mg) ao nível de 1 % de probabilidade ($p \leq 0,01$), com a Nordeste superando em 16,1 % o teor de Mg encontrado nas folhas de Paraguaçu. Por outro lado, constata-se diferenças altamente significativas ($p \leq 0,01$) para os tratamentos onde variou-se o conteúdo de água do solo, com única exceção para Nitrogênio. Também não foram registradas diferenças significativas para interação Cultivar x Água disponível.

Tabela 16 - Resumo de análise de variância referente aos teores de **macronutrientes presentes nas folhas** das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		Teor de cálcio	Teor de fósforo ¹	Teor de magnésio	Teor de nitrogênio	Teor de potássio
Cultivares	1	1,98 ^{ns}	0,005 ^{ns}	1,76 ^{**}	75,26 ^{ns}	20,53 ^{ns}
Água disponível	3	222,27 ^{**}	0,70 ^{**}	5,06 ^{**}	285,22 ^{ns}	152,06 ^{**}
Regressão Polinomial Linear		323,08 ^{**}	1,68 ^{**}	1,08 ^{**}	-	58,24 ^{ns}
Reg. Pol. Quadrática		178,76 [*]	0,27 ^{ns}	13,35 ^{**}	-	197,22 ^{**}
Reg. Pol. Cúbica		164,97 [*]	0,14 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-	200,72 ^{**}
Interação	3	28,88 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,75 ^{ns}	304,08 ^{ns}	34,93 ^{ns}
Blocos	2	14,20 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,09 ^{ns}	733,47 [*]	1,26 ^{ns}
Resíduo	14	20,70	0,08	0,18	162,16	21,38
CV %		12,77	19,35	11,77	27,13	15,81
Tratamentos		Média dos teores em g kg⁻¹				
Nordestina		35,33 a	1,50 (2,43) a	3,90 a	48,71 a	30,17 a
Paraguaçu		35,90 a	1,47 (2,27) a	3,36 b	45,17 a	28,32 a
DMS		3,98	0,25	0,37	11,15	4,04
40 % de água disponível		42,10	1,76 (3,30)	4,73	46,85	29,76
60 % de água disponível		38,05	1,60 (2,60)	3,06	46,75	28,93
80 % de água disponível		27,73	1,57 (2,53)	2,71	55,53	35,30
100 % de água disponível		34,60	0,98 (0,98)	4,03	38,65	23,00

GL - grau de liberdade; ¹ - Dados transformados em \sqrt{X} ; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01(**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$); Os dados apresentados entre parênteses referem-se aos originais sem transformação.

Na Figura 18 são apresentados os gráficos e respectivas equações de regressão para os macronutrientes presentes nas folhas das cultivares aos 180 dias após semeadura e que apresentaram diferenças estatísticas significativas quando submetidas a diferentes níveis de água no solo.

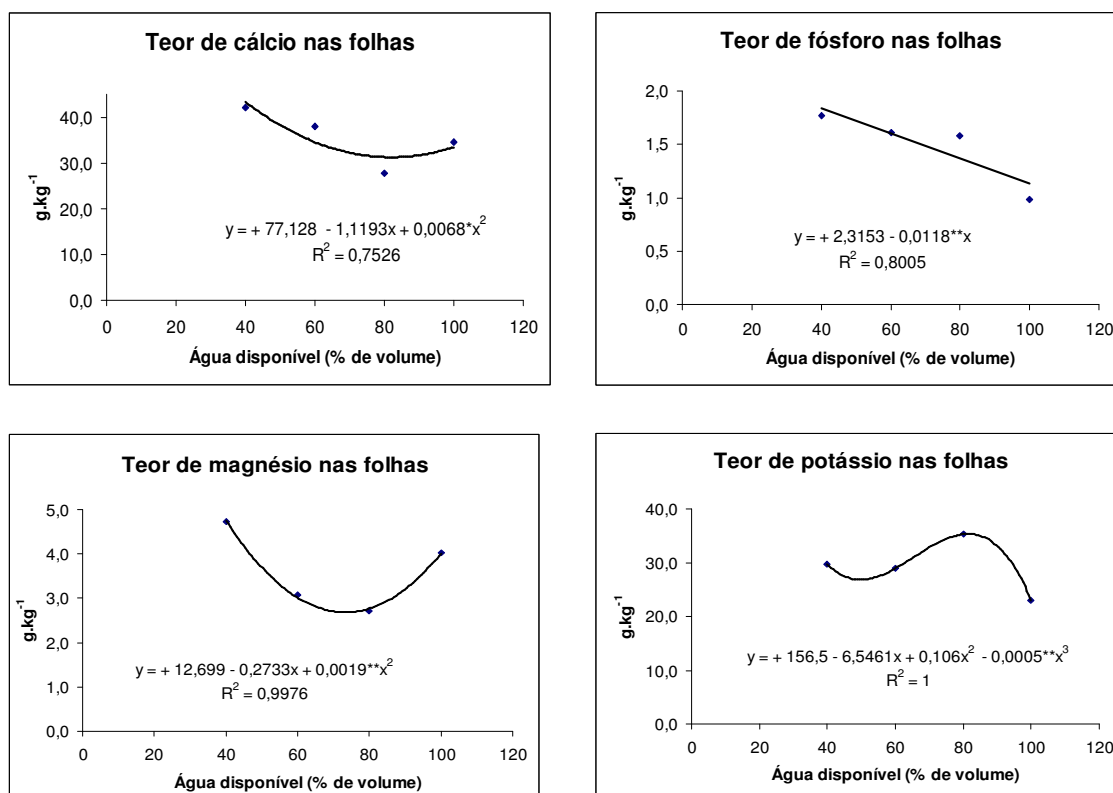


Figura 18 - Macronutrientes presentes nas folhas das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.

A análise da Figura 18 permite verificar comportamentos diferenciados quanto à presença destes elementos nas folhas, com o cálcio e o magnésio apresentado tendências polinomiais quadráticas e sendo encontrados em maiores quantidades nos tratamentos conduzidos com 40 % de água disponível; observa-se ainda que as plantas conduzidas com 100 % de água disponível apresentam teores mais elevados de Ca quando comparadas com as plantas conduzidas com 80 % de água disponível no solo e de Mg para os dois tratamentos intermediários (60 e 80 % de AD). Já o fósforo e o potássio apresentaram, respectivamente, tendências linear e cúbica, porém, diferentemente dos outros dois elementos, os tratamentos conduzidos no maior conteúdo de água (100 % AD) apresentaram os menores teores destes elementos.

Não existem muitos dados na literatura no que se refere a presença e níveis adequados de macronutrientes nas diversas partes da mamoneira, entretanto, Lavres Júnior et al. (2005), trabalhando com a cultivar de mamona Íris, também em condições de casa de vegetação, obtiveram a partir da matéria seca de diferentes partes de plantas consideradas produtivas, aos 91 dias após semeio, intervalos de concentrações considerados ideais nas folhas para Cálcio que variaram de 1 a 13,6 g kg⁻¹, ao mesmo tempo em que, também em folhas, para fósforo este intervalo foi de 1 a 6,5 g kg⁻¹. Malavolta (apud SANTOS et al., 2004), considera satisfatórios os teores de Cálcio e Fósforo, determinados na 4ª folha da mamoneira no início da floração, respectivamente, de 15 a 25 e de 3 a 4 g kg⁻¹.

É importante notar que mesmo sendo o material analisado no presente estudo proveniente do final do ciclo da cultura (180 DAS), onde teoricamente a marcha de absorção destes nutrientes é muito pequena ou até mesmo nula (MALAVOLTA, 1980), o teor de cálcio encontrado em menor quantidade (27,73 g kg⁻¹) nas plantas conduzidas em solos com 80 % de AD, supera os intervalos apresentados pelos autores citados acima, provavelmente pela considerável quantidade deste elemento presente no solo cultivado e a baixa mobilidade do mesmo no interior da planta (CAMARGO e ZAMBRINI, 2006).

Com relação aos demais macronutrientes é importante o registro de quantidade muito próxima dos teores de Mg encontrados nas folhas dos tratamentos extremos, sendo 4,73 g kg⁻¹ em plantas conduzidas com 40 % de AD e 4,03 g kg⁻¹ naquelas cujo solo foi mantido com 100 % de AD, fato que surpreende no que diz respeito as plantas conduzidas sem estresse hídrico, pois segundo Malavolta (1976), este elemento, diferentemente do Cálcio, tem bastante mobilidade no floema. Mesmo assim, em ambas as situações, estes valores estão abaixo dos teores de Mg encontrados por Lima et al. (2006) em folhas de mudas de mamona Nordestina produzidas em diferentes substratos que variaram de 6,45 a 11,3 g kg⁻¹ e superiores ao 2,4 g kg⁻¹ encontrado por Pacheco et al. (2006 a), em trabalhos que procuraram estabelecer teores foliares para macronutrientes associado à máxima produtividade econômica da cultivar IAC 226.

Assim como ocorreu com o P, os teores encontrados bem abaixo dos limites esperados para os elementos N e, principalmente, K nas folhas (23 g kg⁻¹), nos tratamentos conduzidos sem estresse hídrico, confirmam que, na presença da água em condições satisfatórias, estes nutrientes foram provavelmente translocados para os frutos, confirmando o próprio Malavolta

(1976), segundo o qual, a maior utilização de nutrientes pelas plantas ocorre quando o conteúdo de água do solo é mantido tão alto quanto possível, sem entretanto, causar problemas de aeração e temperatura. Isto pode ser comprovado, comparando-se os resultados também obtidos por Lavres Júnior et al. (2005) para este mesmo elemento (K) nas folhas ($30,1 \text{ g kg}^{-1}$) com a cultivar Iris, Pacheco et al.(2006 a) em folhas ($26,5 \text{ g kg}^{-1}$) da cultivar IAC 226 e Nakagawa e Neptune (apud FERREIRA et al., 2004 a), que obtiveram $46,1 \text{ g kg}^{-1}$ deste elemento em determinações feitas em folhas de plantas de mamona 64 dias após germinação.

Na Tabela 17 encontram-se as análises de variância referente aos teores de macronutrientes encontrados no caule das plantas no final do experimento, verificando-se que, da mesma forma como nas folhas, houve diferença estatística significativa entre as cultivares apenas para o elemento magnésio (Mg), desta vez ao nível de 5 % de probabilidade ($p \leq 0,05$) e, ao inverso do que se constatou nas folhas, temos a Nordeste sendo superada pela Paraguaçu em 17,2 % no teor deste elemento presente no caule das plantas. Por outro lado, constata-se diferenças estatísticas altamente significativas ($p \leq 0,01$) para todos os tratamentos onde variou-se o conteúdo de água do solo, em geral, com a concentração de macronutrientes no caule diminuindo com o aumento da disponibilidade de água no solo. Tão pouco foram registradas diferenças significativas para interação C x AD para esta variável.

A alternância da superação de uma cultivar sobre a outra para o único macronutriente onde constatou-se diferenças significativas, no caso do Mg, segue a tendência de equilíbrio que já vem sendo observada nas demais variáveis, ou seja, reações similares para ambas as cultivares ao serem submetidas ao estresse hídrico pela diminuição dos conteúdos de água no solo.

Tabela 17 - Resumo de análise de variância referente aos teores de **macronutrientes presentes no caule** das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		Teor de cálcio	Teor de fósforo ¹	Teor de magnésio	Teor de nitrogênio ¹	Teor de potássio
Cultivares	1	13,80 ^{ns}	0,016 ^{ns}	2,40 [*]	0,93 ^{ns}	81,40 ^{ns}
Água disponível	3	325,15 ^{**}	1,77 ^{**}	8,63 ^{**}	23,43 ^{**}	638,03 ^{**}
Regressão Polinomial Linear		742,02 ^{**}	5,02 ^{**}	24,66 ^{**}	40,65 ^{**}	1764,86 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática		60,16 [*]	0,26 [*]	1,21 [*]	23,19 ^{**}	91,26 [*]
Reg. Pol. Cúbica		173,28 ^{**}	0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}	6,46 [*]	57,96 ^{ns}
Interação	3	18,49 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,50 ^{ns}	31,18 ^{ns}
Blocos	2	21,78 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,19 ^{ns}
Resíduo	14	11,50	0,05	0,27	0,94	27,61
CV %		8,58	26,06	15,71	17,79	24,37
Tratamentos		Média dos teores em g kg⁻¹				
Nordestina		38,76 a	0,83 (1,03) a	3,03 b	5,62 (36,46) a	19,72 a
Paraguaçu		40,28 a	0,88 (0,98) a	3,66 a	5,25 (30,27) a	23,40 a
DMS		2,97	0,19	0,46	0,84	4,60
40 % de água disponível		44,20	1,38 (2,00)	4,91	6,45 (42,41)	31,81
60 % de água disponível		47,20	1,12 (1,30)	3,63	6,32 (40,15)	25,26
80 % de água disponível		35,01	0,80 (0,68)	2,61	6,55 (44,61)	21,76
100 % de água disponível		31,68	0,12 (0,05)	2,23	2,49 (6,30)	7,41

GL - grau de liberdade; ¹ Dados transformados em \sqrt{X} ; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01(**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$); Os dados apresentados entre parênteses referem-se aos originais sem transformação.

Na Figura 19 são apresentadas de forma gráfica às tendências e as respectivas equações de regressões para os teores destes elementos encontrados no caule. Com exceção do nitrogênio que apresentou uma tendência quadrática, os demais elementos tiveram comportamento linear, com os teores diminuindo com o aumento do conteúdo de água no solo, com decréscimos que variaram de 0,02 g kg⁻¹ para fósforo a 0,38 g kg⁻¹ de potássio no caule por cada incremento unitário no percentual em volume da água disponível no solo.

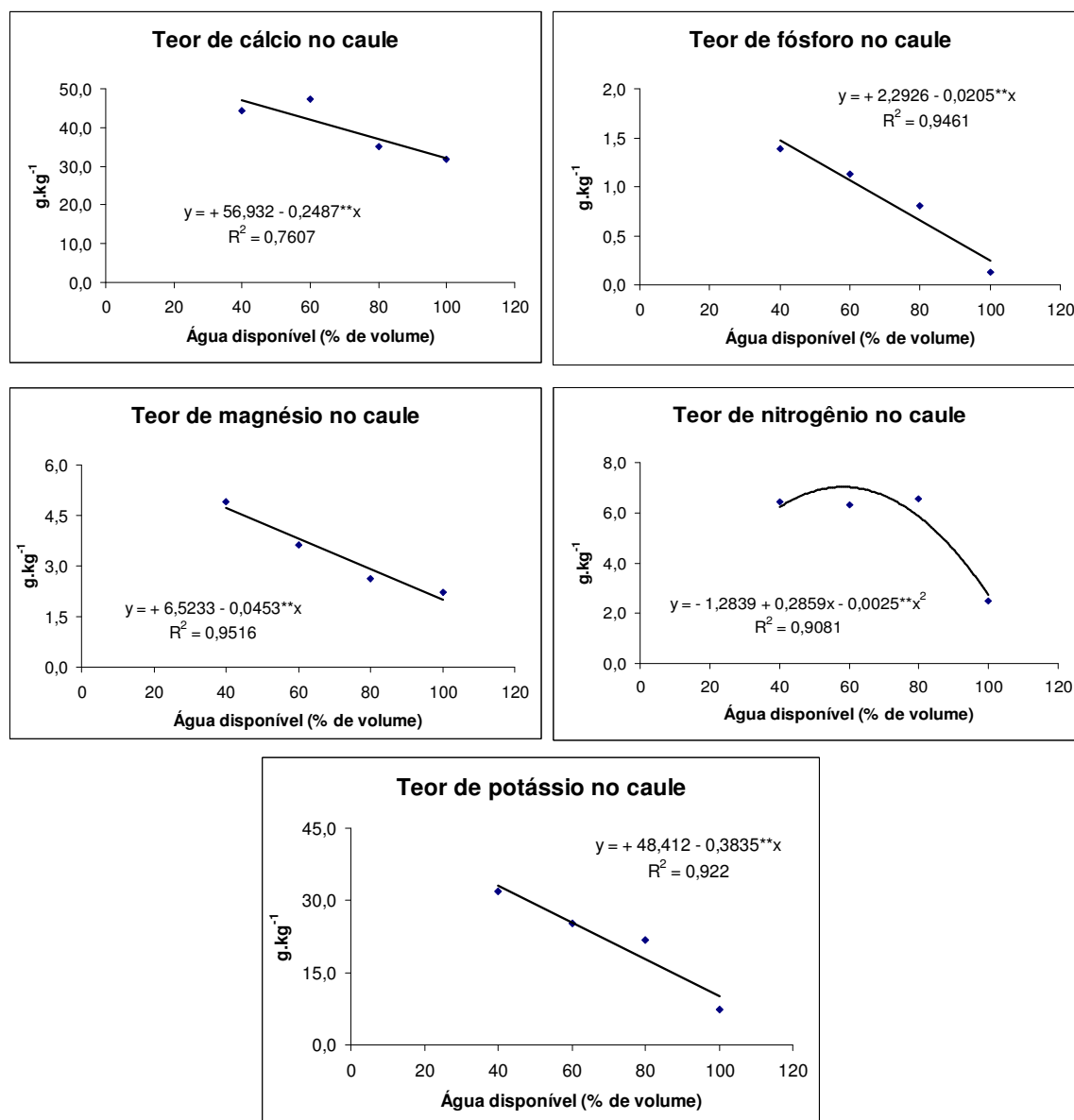


Figura 19 - Macronutrientes presentes no caule das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.

Segundo Malavolta (1980), o sistema transportador de assimilados das plantas consta de pequenos tubos embutidos na parte externa do caule, nos quais passam os solutos minerais, de forma que as células do câmbio acumulam ativamente íons, num processo dinâmico que leva a reutilização de grande parte dos minerais nos mais variados órgãos da planta, incluindo-se aí o próprio caule.

No presente estudo os teores médios dos macronutrientes presentes nos caules das plantas para os tratamentos conduzidos na capacidade de campo, ficaram muito abaixo dos valores observados nos tratamentos submetidos aos níveis mais severos de estresse hídrico (40 e 60 % de AD). Com exceção novamente do Cálcio ($31,68 \text{ g kg}^{-1}$) que apresenta-se bem superior ao intervalo de concentração considerado ideal (1 a $7,5 \text{ g kg}^{-1}$ no caule) por Lavres Júnior et al. (2005) em trabalhos com a cultivar de mamona Iris, os demais elementos apresentaram teores abaixo desta faixa ideal, principalmente o fósforo com $0,05 \text{ g kg}^{-1}$ contra o intervalo encontrado por estes autores de 0,9 a $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ e o potássio, que com $7,41 \text{ g kg}^{-1}$ apresentou-se inferior aos $10,9 \text{ g kg}^{-1}$ estabelecidos em plantas produtivas desta cultivar aos 91 dias após sementeira.

Estes comportamentos se repetem tanto para o Nitrogênio ($42,41 \text{ g kg}^{-1}$ encontrado nas plantas dos tratamentos conduzidos com 40 % de Água disponível e $6,30 \text{ g kg}^{-1}$ para aquelas cujo solo permaneceu a 100 % de AD), quanto para o Magnésio ($4,91 \text{ g kg}^{-1}$ – plantas mantidas com 40 % de água disponível no solo e $2,23 \text{ g kg}^{-1}$ para aquelas sem estresse hídrico), quando se compara com as faixas ideais destes macronutrientes no caule, segundo Lavres Júnior et al. (2005), que seriam de 8,4 a 13,3 para N e de 4,3 a $4,6 \text{ g kg}^{-1}$ para Mg, ratificando assim a tendência observada nas folhas para os tratamentos conduzidos sem estresse hídrico, onde a presença do conteúdo de água em condições satisfatórias parece favorecer o carregamento dos nutrientes considerados de luxo para o enchimento de frutos.

As médias relativas aos macronutrientes encontrados nas raízes das plantas por tratamento, bem como os resultados das respectivas análises de variância para cada um dos elementos, encontram-se na Tabela 18, na qual é possível perceber que nenhum destes elementos apresentou diferença significativa para as cultivares estudadas e nem para interação C x AD.

Tabela 18 - Resumo de análise de variância referente aos teores de **macronutrientes presentes nas raízes** das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		Teor de cálcio	Teor de fósforo ¹	Teor de magnésio	Teor de nitrogênio	Teor de potássio
Cultivares	1	0,40 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-1,38 ^{ns}	1,35 ^{ns}	30,15 ^{ns}
Água disponível	3	12,09 ^{**}	0,84 ^{**}	2,57 ^{**}	970,68 ^{**}	409,93 ^{**}
Regressão Polinomial Linear		13,66 [*]	2,32 ^{**}	6,16 ^{**}	1596,51 ^{**}	1148,86 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática		4,59 ^{ns}	0,18 [*]	1,30 ^{**}	979,20 ^{**}	72,45 [*]
Reg. Pol. Cúbica		18,01 [*]	0,01 ^{ns}	0,26 ^{ns}	336,34 ^{**}	8,48 ^{ns}
Interação	3	0,96 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}	20,72 ^{ns}	7,61 ^{ns}
Blocos	2	10,99 [*]	0,01 ^{ns}	0,14 ^{ns}	4,28 ^{ns}	1,72 ^{ns}
Resíduo	14	2,08	0,03	0,13	6,24	9,50
CV %		4,46	17,98	15,64	7,42	19,09
Tratamentos		Média dos teores em g .kg⁻¹				
Nordestina		32,21 a	1,08 (1,30) a	2,38 a	33,90 a	15,03 a
Paraguaçu		32,47 a	1,03 (1,20) a	2,38 a	33,43 a	17,27 a
DMS		1,26	0,16	0,32	2,18	2,70
40 % de água disponível		32,53	1,55 (2,48)	3,25	39,90	23,43
60 % de água disponível		34,28	1,14 (1,31)	2,51	38,68	21,78
80 % de água disponível		31,28	0,79 (0,65)	1,78	41,43	14,00
100 % de água disponível		31,28	0,74 (0,56)	1,98	14,66	5,40

GL - grau de liberdade; ¹ - Dados transformados em \sqrt{X} ; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01(**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$); Os dados apresentados entre parênteses referem-se aos originais sem transformação.

Para o fator água disponível percebe-se que as diferenças estatísticas para os tratamentos que contemplam os diferentes níveis de água no solo, assim como constatado para folhas e caule, apresentam-se altamente significativos, obtendo-se novamente os menores teores destes elementos nos tratamentos correspondentes aos maiores conteúdos de água no solo, situação que pode ser melhor evidenciada na análise da Figura 20.

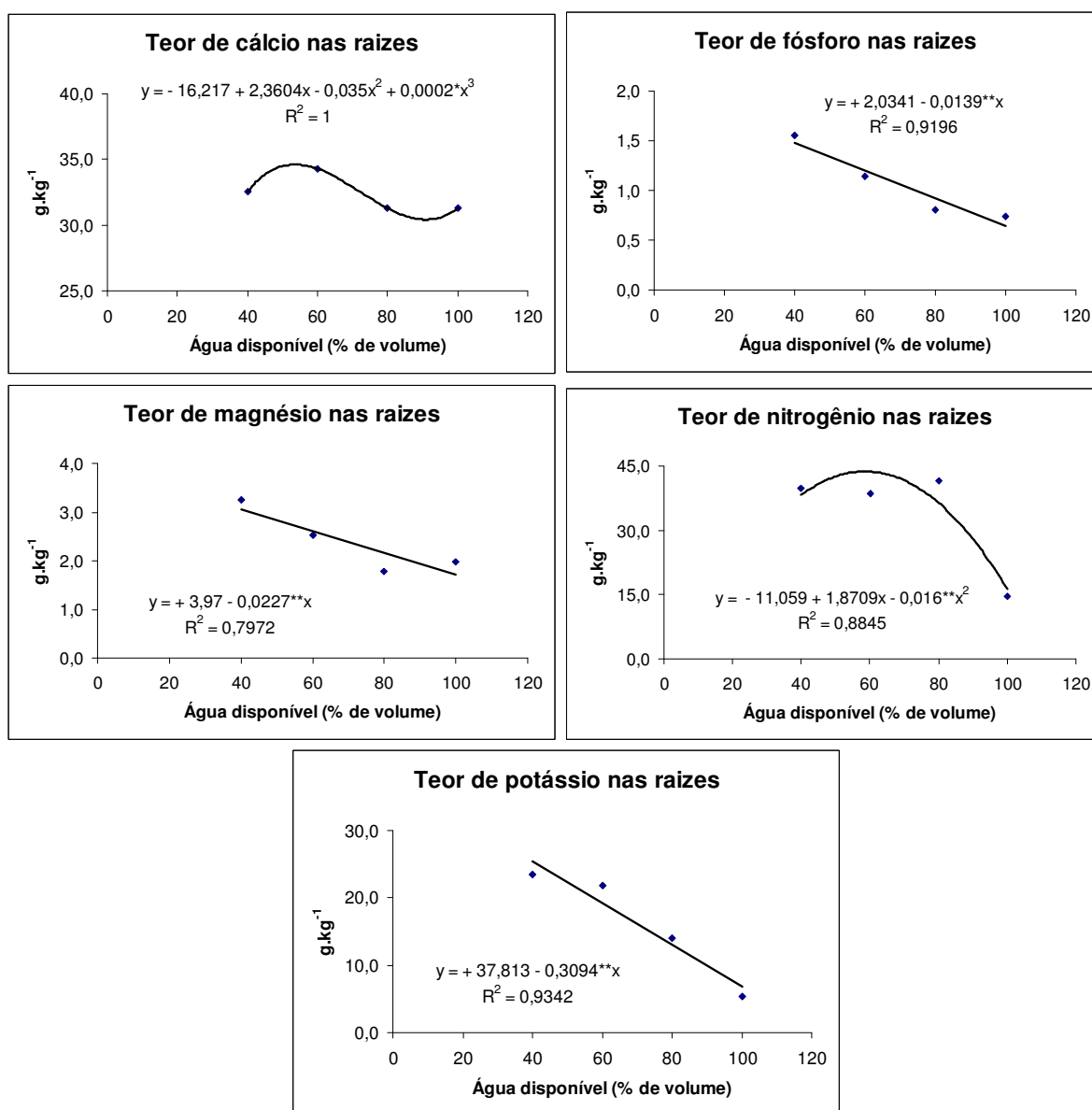


Figura 20 - Macronutrientes presentes nas raízes das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.

Nesta mesma figura é possível verificar que dois elementos apresentam comportamento diferenciado: o Cálcio com polinomial cúbica significativa a 5 % de probabilidade e o Nitrogênio com função quadrática altamente significativa ($p \leq 0,01$); já para os demais elementos, tem-se um comportamento linear decrescente com reduções de 0,0139 g kg⁻¹ de fósforo, 0,0227 g kg⁻¹ de magnésio e 0,309 g kg⁻¹ de potássio nas raízes para cada incremento unitário no percentual em volume da água disponível no solo.

Assim como se registrou na parte área das plantas, o elemento Cálcio volta a aparecer em elevada quantidade nas raízes, desta vez em todos os tratamentos, independentemente do conteúdo de água presente no solo, com variação muito pequena entre as médias encontradas, (31,58 a 32,35 g kg⁻¹), quantitativos estes que chegam a superar em até 04 vezes os valores da faixa de concentração ideal (1,0 a 8,1g kg⁻¹) proposta para o sistema radicular da mamoneira Irís por Lavres Júnior et al. (2005). Por outro lado, as variações entre os tratamentos para os teores de Fósforo (de 0,56 a 2,48 g kg⁻¹), Potássio (5,4 a 23,4 g kg⁻¹) e Magnésio (1,78 a 3,25 g kg⁻¹), permaneceram dentro ou abaixo das faixas ideais estabelecidas por estes mesmos autores, que foram respectivamente de 1,5 a 8,0 g kg⁻¹ para P, 6,5 a 27,2 para K e de 6,6 a 7,0 g kg⁻¹ para Mg, fato que não ocorreu com os teores de Nitrogênio, uma vez que todos os tratamentos apresentaram valores acima da faixa de 12,8 a 32,7 g kg⁻¹ estabelecida pelos autores, com exceção do tratamento conduzido na capacidade de campo que ficou em 14,66 g kg⁻¹.

Levando-se em conta os teores médios dos macronutrientes encontrados em qualquer uma das partes das plantas (folhas, caule e raízes) conduzidas sem estresse hídrico, cujos valores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio e Magnésio apresentaram-se muito abaixo dos valores de referência para a cultura, em que pese os elevados teores de Cálcio (elemento de baixa mobilidade no interior da planta), indica ter havido um favorecimento direto da boa disponibilidade de água no solo para o efetivo translocamento destes macronutrientes por estas plantas para o suporte da produção média dos seus 08 cachos de frutos, diferentemente das plantas conduzidas a 40 % de AD que nada produziram e que apresentaram, na maioria dos casos, os maiores teores destes elementos em sua constituição.

4.2.9.2 - Micronutrientes presentes nas folhas, caules e raízes

A Tabela 19 apresenta os dados da análise de variância (ANAVA) para os teores de micronutrientes encontrados nas folhas das plantas colhidas no final do experimento, na qual verifica-se que não houve diferença estatística significativa entre as cultivares no que se refere ao quantitativo destes elementos; por outro lado, constata-se diferenças estatísticas significativas ao nível de 5 % de probabilidade ($p \leq 0,05$) para os elementos ferro e manganês e a 1 % de probabilidade ($p \leq 0,01$) para os elementos cobre, cloreto, sódio e zinco, encontrados nos tratamentos onde variou-se o conteúdo de água do solo, sendo que, no geral, a quantidade destes elementos nas folhas foi diminuindo a medida que aumentou a disponibilidade de água no solo. Para a interação C x AD, não foram registradas diferenças estatísticas significativas.

As curvas de tendências, bem como as equações de regressões e respectivos coeficientes de correlação, para estes micronutrientes encontrados aos 180 dias após semeadura nas folhas das plantas submetidas aos diferentes níveis de água disponível no solo, podem ser vistas na Figura 21.

Tabela 19 - Resumo de análise de variância referente aos teores de **micronutrientes presentes nas folhas** das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		Teor de cobre ¹	Teor de cloreto	Teor de ferro	Teor de manganês	Teor de sódio ²	Teor de zinco
Cultivares	1	5,48 ^{ns}	21,09 ^{ns}	49,59 ^{ns}	805054,14 ^{ns}	0,00 ^{ns}	815,50 ^{ns}
Água disponível	3	404,94 ^{**}	54,87 ^{**}	3299,11 [*]	2213754,04 [*]	0,19 ^{**}	9942,85 ^{**}
Regressão Polinomial Linear		858,35 ^{**}	41,18 [*]	993,60 ^{ns}	1390407,40 ^{ns}	0,53 ^{**}	26841,23 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática		0,003 ^{ns}	108,80 ^{**}	3677,85 [*]	11642,41 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1814,82 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica		356,48 [*]	14,63 ^{ns}	5225,88 [*]	5339212,30 ^{**}	0,00 ^{ns}	1172,50 ^{ns}
Interação	3	36,86 ^{ns}	24,57 ^{ns}	58,02 ^{ns}	909088,61 ^{ns}	0,00 ^{ns}	981,92 ^{ns}
Blocos	2	15,87 ^{ns}	28,45 ^{ns}	3105,56 [*]	5107537,39 ^{**}	0,00 ^{ns}	1607,86 ^{ns}
Resíduo	14	42,21	9,70	788,89	579095,09	0,01	650,96
CV %		25,47	26,48	15,34	17,23	10,97	16,10
Tratamentos		Média dos teores em mg.kg⁻¹					
Nordestina		25,98 (744,75) a	12,70 a	181,70 a	4599,01 a	0,95 a	164,30 a
Paraguaçu		25,03 (719,56) a	10,82 a	184,58 a	4232,71 a	0,97 a	152,64 a
DMS		5,68	2,72	24,59	666,32	0,09	22,34
40 % de água disponível		31,79 (1020,50)	15,30	172,80	4507,81	1,11	191,51
60 % de água disponível		33,36 (1116,30)	11,26	218,20	5172,38	1,10	191,50
80 % de água disponível		17,67 (366,58)	8,00	172,85	3703,40	0,91	142,83
100 % de água disponível		19,19 (425,26)	12,40	168,73	4279,86	0,73	108,03

GL - grau de liberdade; ¹ - Dados transformados em \sqrt{X} ; ² - médias dos teores em g .kg⁻¹; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01(**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (p ≤ 0,05); Os dados apresentados entre parênteses referem-se aos originais sem transformação.

Analisando a Figura 21 é possível verificar os diversos comportamentos apresentados pelos micronutrientes nas folhas com a variação da água disponível no solo, de forma que três destes elementos, Cu, Na e Zn, apresentaram um tendência linear decrescente, com reduções, a cada incremento unitário do percentual em volume da água disponível no solo de 0,27 mg kg⁻¹ de cobre, 0,006 g kg⁻¹ de sódio e 1,49 mg kg⁻¹ de zinco; Para o cloreto obteve-se uma regressão quadrática, enquanto que para os elementos Fe e Mg este comportamento é polinomial cúbico, observando-se uma significância estatística a nível de 5 % de probabilidade para o Cl e alta significância (p ≤ 0,01) para Ferro e Manganês.

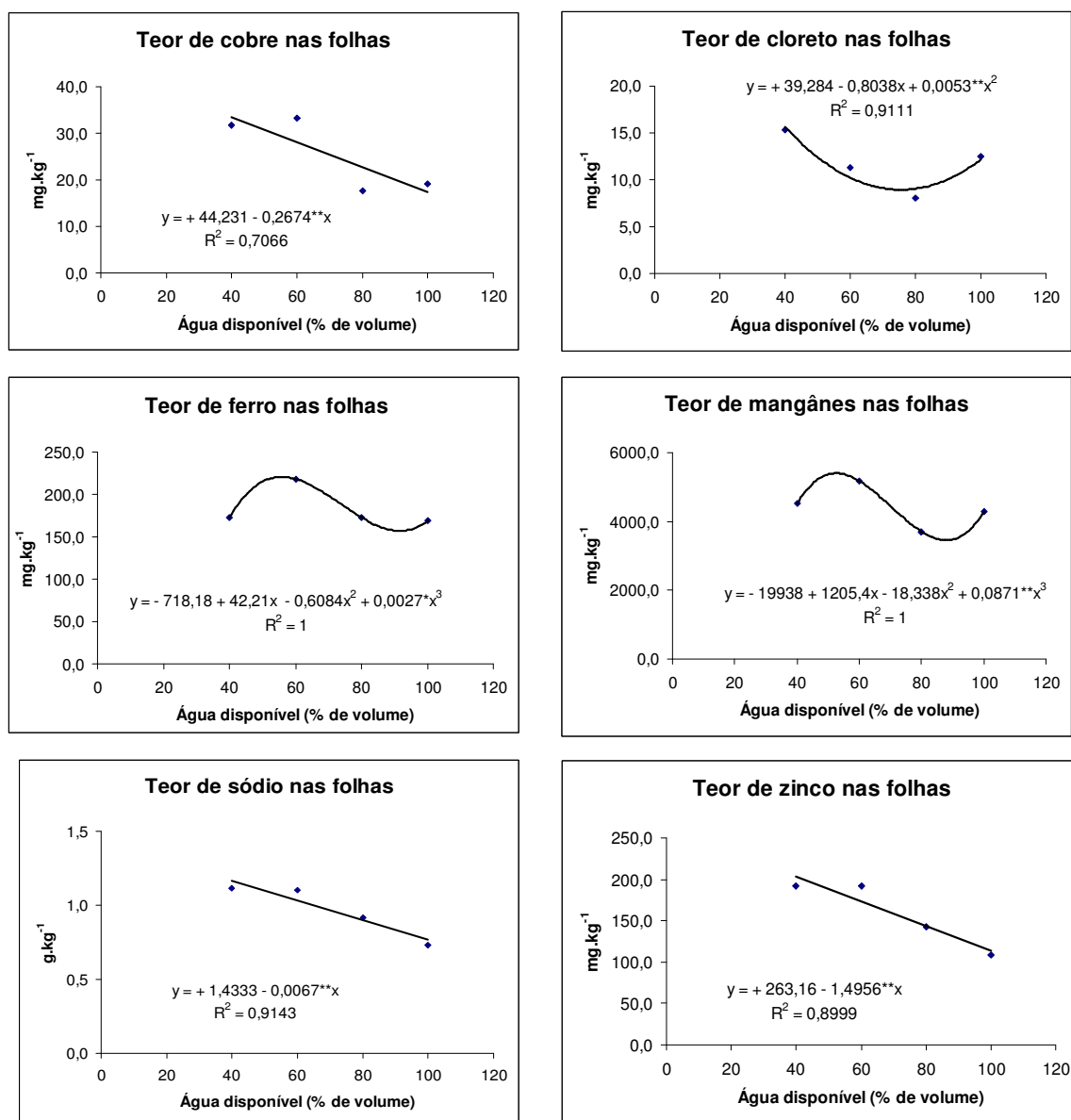


Figura 21 - Micronutrientes presentes nas folhas das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.

No que se refere à micronutrientes também são raros os resultados na literatura que indiquem quais seriam os teores ideais destes elementos nas plantas da mamoneira (FERREIRA et al. 2004 b); Pacheco et al. (2006 b) cultivando a variedade IAC 226 em regime de sequeiro, determinaram em amostras retiradas de matéria seca provenientes da 4ª folha a partir do ápice das plantas na época do florescimento, níveis críticos foliares variando para os elementos Cu, Fe, Mn e Zn, na ordem de 8, 189 - 199, 37 - 47 e 20 - 27 mg kg⁻¹, respectivamente. Camargo e Zabini (apud PACHECO et al., 2006 b) em ensaios com adubos foliares, obtiveram em plantas de mamona, que não aparentavam sintomas de deficiência ou excesso de nutrientes, teores foliares médios também em matéria seca de 8,8 para Cu, 210 para Fe, 120 para Mn e 39 mg kg⁻¹ para Zn.

Comparando-se os dados médios obtidos no presente trabalho, independentemente do nível de água disponível no solo (apesar da diferença significativa entre eles e com os menores teores sendo registrados nos tratamentos de maior nível de água), com os resultados apresentados pelos autores citados, os quantitativos encontrados para Cu, Zn e Mg chamam atenção por serem muito elevados (variaram de 425,6 a 1.020,5 para Cu, 108,03 a 191,51 para Zn e 3.703,40 a 4.507,8 mg kg⁻¹ para Mn), originados, provavelmente, para os dois primeiros elementos, pelas 08 aplicações foliares realizadas com solução de Cu + Zn nas folhas do ponteiro, ao longo do experimento, para controle das atrofias presentes nas folhas novas (reviramento de bordas e crescimento reduzido), principalmente da cultivar Paraguaçu. No caso do Mn, não se tem conhecimento de uma causa aparente que possa esclarecer a elevada quantidade deste elemento encontrado nas folhas. Por outro lado, segundo Malavolta (1997), este micronutriente apresenta inibição competitiva na presença de Fe, que por sua vez apareceu em teores médios (168,73 a 218,20 mg kg⁻¹) bem próximo dos citados por Pacheco et al. (2006 b).

Lange et al. (2005) em trabalhos com a cultivar Íris em casa de vegetação, obteve a partir da matéria seca de folhas de plantas colhidas até os 84 dias e conduzidas com suprimento adequado de micronutrientes, valores de 6, 9, 44 e 27 mg kg⁻¹, respectivamente, para Fe, Zn, Cu e Mn, considerados adequados para os padrões nutricionais da cultivar nestas condições.

Com relação ao Sódio, verifica-se um comportamento diferenciado para os efeitos produzidos com a variação da água disponível no solo, de forma que, o quantitativo nas folhas

das plantas conduzidas sem estresse hídrico apresentou uma diferença 34 % inferior ao maior teor encontrado ($1,11 \text{ mg kg}^{-1}$), que foi obtido no tratamento de 40 % de AD; estes valores estão bem próximos dos alcançados por Santos Filho et al. (2004) em experimento com a cultivar Nordestina, onde o teor de Na, a partir da matéria seca das folhas de plantas colhidas aos 50 dias, ficou próximo de $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ e enquadra-se nas afirmações de Fontes (2001) de que o sódio é um elemento que apresenta alta mobilidade nas folhas, principalmente em situações favoráveis de suporte hídrico e nutricional das plantas.

Na Tabela 20 encontram-se as análises de variância referente aos teores de micronutrientes encontrados no caule das plantas no final do experimento, verificando-se que, da mesma forma como nas folhas, não houve diferença estatística significativa entre as cultivares. No que se refere aos tratamentos onde as plantas foram submetidas a diferentes conteúdos de água no solo, constata-se diferenças estatísticas altamente significativas ($p \leq 0,01$) para todos os elementos, com exceção do ferro, que não apresentou diferença estatística significativa. Também não foram registradas diferenças significativas para interação C x AD para esta variável.

Tabela 20 - Resumo de análise de variância referente aos teores de **micronutrientes presentes no caule** das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		Teor de cobre	Teor de cloreto ¹	Teor de ferro	Teor de manganês	Teor de sódio ²	Teor de zinco
Cultivares	1	13,50 ^{ns}	0,13 ^{ns}	2608,33 ^{ns}	4395,62 ^{ns}	0,42 ^{ns}	575,26 ^{ns}
Água disponível	3	20392,29 ^{**}	3,63 ^{**}	1766,13 ^{ns}	198470,13 ^{**}	2,64 ^{**}	7622,52 ^{**}
Regressão Polinomial Linear		45747,07 ^{**}	8,87 ^{**}	-	310083,33 ^{**}	4,40 ^{**}	21017,18 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática		13987,68 ^{**}	1,52 ^{ns}	-	237407,41 ^{**}	3,22 ^{**}	11,90 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica		1442,13 ^{ns}	0,51 ^{ns}	-	47920,03 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1838,48 ^{**}
Interação	3	1659,70 ^{ns}	0,13 ^{ns}	758,52 ^{ns}	16422,23 ^{ns}	0,05 ^{ns}	49,06 ^{ns}
Blocos	2	1760,66 ^{ns}	0,08 ^{ns}	3577,21 [*]	106659,18 [*]	0,03 ^{ns}	360,37 ^{ns}
Resíduo	14	670,28	0,51	629,60	16926,63	0,22	159,96
CV %		22,92	21,47	22,81	20,49	27,78	18,18
Tratamentos		Média dos teores em mg.kg⁻¹					
Nordestina		112,18 a	3,43 (12,52) a	99,55 a	648,40 a	1,82 a	74,45 a
Paraguaçu		113,68 a	3,28 (11,60) a	120,40 a	621,34 a	1,55 a	64,66 a
DMS		22,66	0,63	21,97	113,91	0,41	11,04
40 % de água disponível		143,90	4,36 (19,73)	119,75	707,90	1,43	113,88
60 % de água disponível		167,00	3,57 (12,85)	128,73	725,21	1,28	70,35
80 % de água disponível		107,15	2,63 (7,10)	91,88	743,45	1,36	67,36
100 % de água disponível		33,68	2,85 (8,56)	99,56	362,93	2,68	26,65

GL - grau de liberdade; ¹- Dados transformados em \sqrt{X} ; ²- médias dos teores em g kg⁻¹; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01(**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (p ≤ 0,05); Os dados apresentados entre parênteses referem-se aos originais sem transformação.

O conteúdo dos micronutrientes Cobre, Cloreto e Zinco no caule das plantas diminuíram com o aumento da disponibilidade de água no solo (Tabela 20 e Figura 22); para estes casos, a cada incremento unitário na percentagem em volume de água no solo, as plantas apresentaram um decréscimo no caule de 1,95 mg kg⁻¹ de Cobre, 0,03 mg kg⁻¹ de Cloreto e 1,32 mg kg⁻¹ de Zinco. Os elementos Manganês e Sódio, por sua vez, apresentaram comportamento quadrático, sendo que o Sódio, diferentemente do que ocorreu nas folhas, foi se acumulando em maior quantidade a medida que aumentou o nível de água no solo.

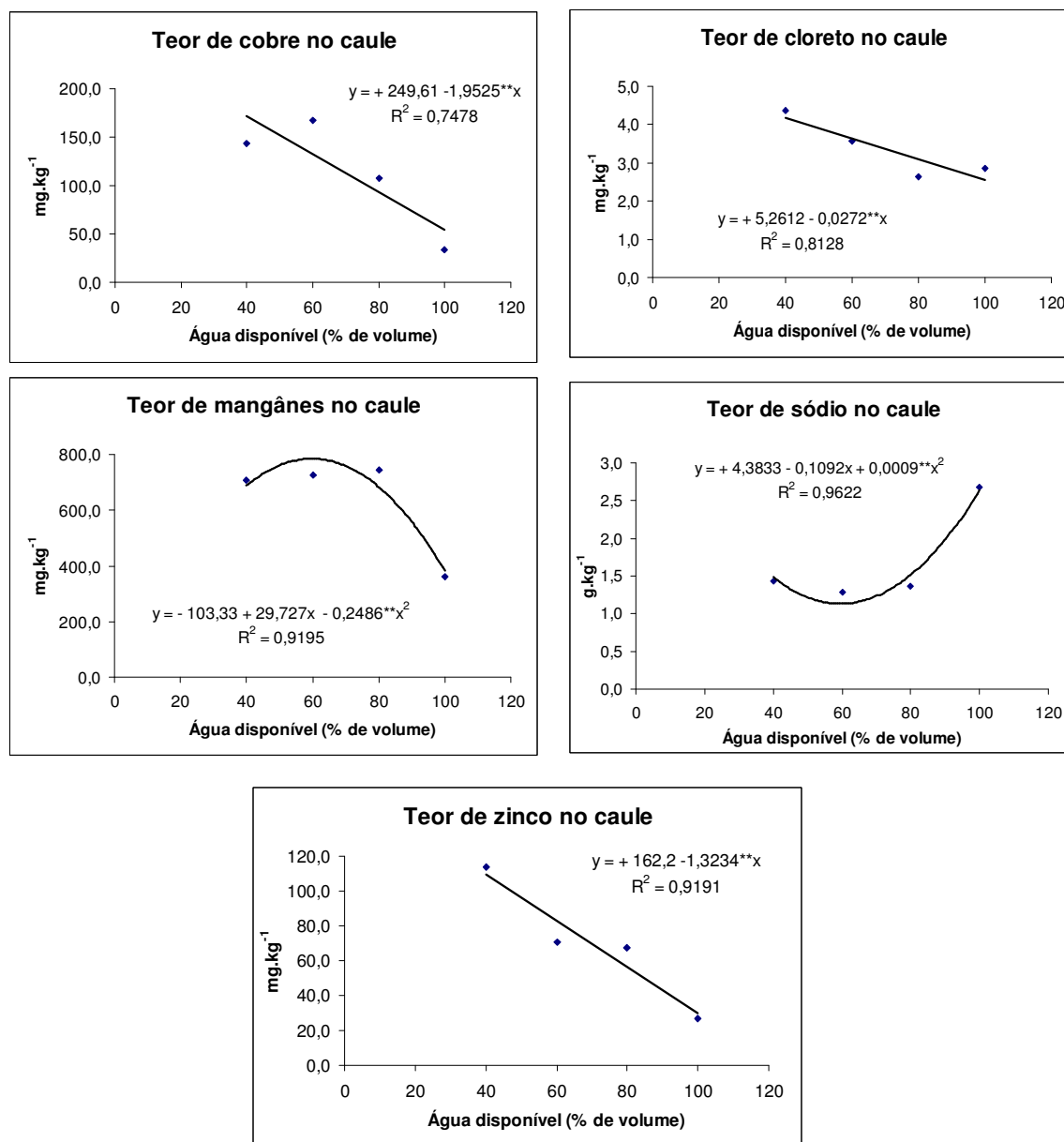


Figura 22 - Micronutrientes presentes no caule das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.

Na Tabela 21 estão contidas as análises de variância para os teores de micronutrientes encontrados nas raízes das plantas aos 180 dias após semeadura. Assim como ocorreu nas folhas e no caule, constata-se a ausência de diferenças estatísticas significativas entre as cultivares Nordeste e Paraguaçu.

Com relação ao fator Água disponível, com exceção do micronutriente Cobre, todos os demais apresentaram diferenças estatísticas significativas, sendo ao nível de 5 % de probabilidade para o elemento Manganês e a 1% para os demais elementos pesquisados (Cl, Fe, Na e Zn). A interação (C x AD) mais uma vez não foi estatisticamente significativa, indicando haver efeito isolado dos níveis de água disponível no solo, ou seja, este efeito ocorreu independentemente da cultivar que estava sendo conduzida.

Tabela 21 - Resumo de análise de variância referente aos teores de **micronutrientes presentes nas raízes** das plantas colhidas aos os 180 dias após a semeadura (DAS) das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		Teor de cobre ¹	Teor de cloreto	Teor de ferro ¹	Teor de manganês ¹	Teor de sódio ²	Teor de zinco
Cultivares	1	0,05 ^{ns}	2,10 ^{ns}	102,14 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	43,20 ^{ns}
Água disponível	3	3,01 ^{ns}	32,75 ^{**}	945,92 ^{**}	17,97 [*]	13,32 ^{**}	211,57 [*]
Regressão Polinomial Linear	-	-	0,88 ^{ns}	2181,67 ^{**}	23,97 [*]	28,32 ^{**}	455,52 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática	-	-	89,32 ^{**}	655,58 [*]	0,08 ^{ns}	9,50 ^{**}	95,20 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica	-	-	8,06 ^{ns}	0,51 ^{ns}	29,85 [*]	2,16 ^{**}	84,00 ^{ns}
Interação	3	0,40 ^{ns}	8,64 ^{ns}	58,80 ^{ns}	1,79 ^{ns}	0,18 ^{ns}	4,48 ^{ns}
Blocos	2	1,24 ^{ns}	1,36 ^{ns}	42,66 ^{ns}	9,55 ^{ns}	0,38 ^{ns}	208,23 [*]
Resíduo	14	0,98	4,93	101,37	4,08	0,23	49,42
CV %		20,15	27,93	37,09	16,82	14,19	21,94
Tratamentos		Média dos teores em mg.kg⁻¹					
Nordestina		4,96 (25,36) a	7,65 a	29,20 (1081,91) a	11,98 (149,20) a	3,40 a	33,39 a
Paraguaçu		4,86 (25,19) a	8,25 a	25,08 (776,92) a	12,05 (151,27) a	3,48 a	30,70 a
DMS		0,86	1,94	8,81	1,77	0,42	6,15
40 % de água disponível		5,85 (35,21)	9,36	19,64 (388,00)	11,24 (127,08)	2,48	29,03
60 % de água disponível		4,91 (24,81)	6,71	17,45 (308,01)	10,02 (101,60)	2,73	25,60
80 % de água disponível		4,13 (17,25)	5,33	26,38 (727,33)	13,90 (200,35)	2,90	34,51
100 % de água disponível		4,75 (23,83)	10,40	45,09 (2294,33)	12,92 (171,91)	5,66	39,05

GL - grau de liberdade; ¹ - Dados transformados em \sqrt{X} ; ² - médias dos teores em g .kg⁻¹; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01(**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (p ≤ 0,05); Os dados apresentados entre parênteses referem-se aos originais sem transformação.

Baseando-se nos estudos de regressão (Figura 23) constatou-se uma tendência linear crescente para os micronutrientes nestas raízes com acréscimos de Ferro em $0,42 \text{ mg kg}^{-1}$, de Sódio em $0,048 \text{ mg kg}^{-1}$ e Zinco $0,19 \text{ mg kg}^{-1}$, para cada incremento unitário em percentagem de volume da água disponível no solo. Nota-se que, com exceção do Sódio no caule, ocorre o inverso do que foi constatado nas folhas e no próprio caule, com os demais elementos apresentando um acúmulo nas raízes à medida que aumentaram os níveis de água disponível no solo.

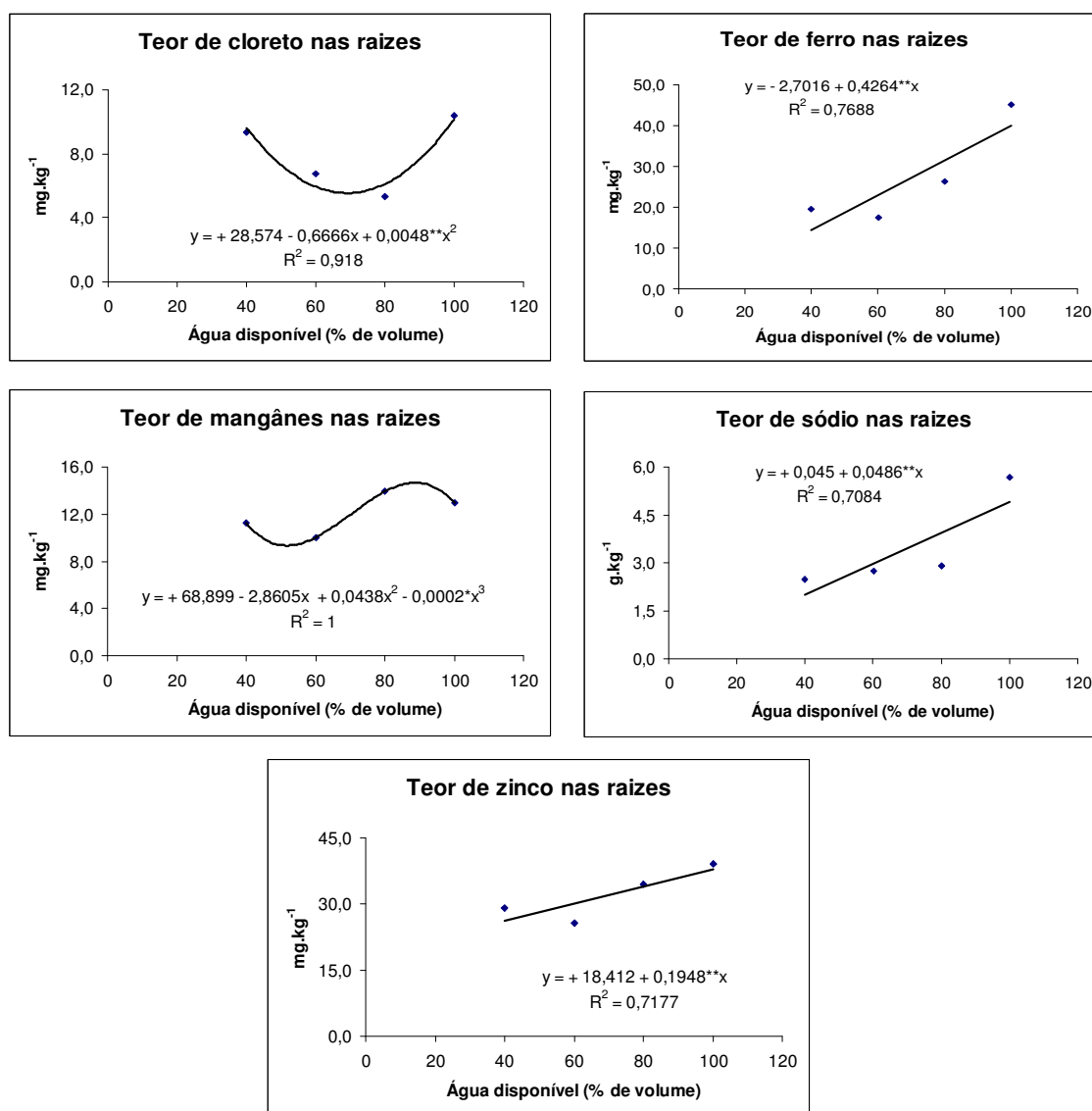


Figura 23 - Micronutrientes presentes nas raízes das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.

Ao contrário das folhas, caule e raízes apresentam um rebaixamento substancial nos teores de micronutrientes, principalmente para Mn e Cu, com valores médios variando, respectivamente, de 362,03 a 707,9 mg.kg⁻¹ (Mn no caule) e de 101,6 a 200 mg kg⁻¹ (Mn nas raízes), e de 33,68 a 167 (Cu no caule) e 17,25 a 35,21 mg kg⁻¹ (Cu nas raízes). Mesmo assim estes resultados, apesar de não serem originados da área foliar, continuam muito acima dos valores encontrados por Pacheco et al. (2006 b) e por Lange et al. (2005) nas folhas das cultivares de mamona que conduziram em condições de ambiente protegido.

Também constata-se uma inversão para caule e raízes no que se refere aos tratamentos conduzidos nos maiores níveis de água que passaram a deter quantidades de Sódio bem superiores aos encontrados nas folhas, chegando a 2,68 no caule e a 5,66 mg kg⁻¹ nas raízes, respectivamente. O acúmulo ascendente deste elemento nestas partes da planta, principalmente nas raízes, é mencionado por Malavolta (1976 e 1980), segundo o qual, muitas espécies vegetais têm uma enorme facilidade de excluí-lo da parte aérea para acumulá-lo em grandes proporções no sistema radicular, face à existência de dois mecanismos metabólicos diferenciados e que funcionam de forma paralela e ativa, o que pode indicar que, nas plantas onde o suporte hídrico manteve-se favorável, estes metabolismos foram plenamente ativados, diferentemente do que ocorreu com as plantas submetidas a estresse hídrico.

A presença destas quantidades de Sódio nas plantas, principalmente nas raízes, não nos parece ter causado algum tipo de toxicidade ao longo do ciclo fenológico da cultura; Kinraide (apud CAVALCANTI, 2003) relata que, apesar do efeito osmótico, altos níveis de sódio nos tecidos das plantas são tóxicos apenas quando existe deficiência de cálcio, o que não foi o caso neste ensaio (Tabelas 16,17 e 18).

Particularmente nas raízes, a situação inverteu-se entre o Fe (apresentando-se extremamente elevado (2.294,33 mg kg⁻¹), principalmente nas plantas conduzidas sem estresse hídrico), e o Mn, que apesar de ainda alto, apresentou os menores e melhores teores médios (101,60 a 200,35 mg kg⁻¹) para as três partes investigadas na planta.

No geral pode se afirmar que, assim como ocorreu para os macronutrientes, o aumento na água disponível no solo também parece ter favorecido a translocação dos micronutrientes da parte aérea da planta em benefício dos componentes da produção, uma vez que, com exceção das raízes, onde estes elementos se acumularam à medida que o conteúdo de água

creceu no solo, para folhas e caule, os tratamentos mantidos na capacidade de campo detiveram os menores teores para a maioria dos micronutrientes pesquisados.

Por fim é importante ressaltar que as dificuldades de cruzamento de informações como as obtidas para estas variáveis, com resultados de outras pesquisas são muitas, principalmente pelas variações provocadas por diferentes épocas de coleta do material, tipo de amostragem realizada e cultivares pesquisadas (LANGE et al.,2005), que por sua vez, podem passar a todo momento por interferência de fatores que provocam mudanças diferenciadas nas suas taxas de crescimento e de absorção destes elementos, originando diferentes concentrações de nutrientes em seus tecidos (FONTES, 2001).

4.2.10 - Produção de frutos e sementes

As Tabelas 22 e 23 apresentam, respectivamente, as análises de variâncias e os dados médios referentes ao número e peso dos frutos e sementes produzidos pelas cultivares até os 180 dias. Verificou-se que houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$) para os níveis de água disponível, não havendo diferença estatística significativa para estas produções entre as cultivares estudadas, com exceção da variável Peso de 100 Sementes, que, com 5 % de significância ($p \leq 0,05$), apresenta a cultivar Paraguaçu superando o peso médio das 100 sementes de Nordeste em 30,3 %.

Tabela 22 - Resumo da análise de variância referente a **número (NF)** e **peso total de frutos (PTF)** das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		Número de frutos	Peso total de frutos
Cultivares	1	240,66 ^{ns}	2551,31 ^{ns}
Água disponível	3	61355,16 ^{**}	642677,40 ^{**}
Regressão Polinomial Linear		134402,13 ^{**}	1.350.005,92 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática		44032,66 ^{**}	510355,41 ^{**}
Reg. Pol. Cúbica		5630,70 ^{**}	67670,87 ^{**}
Interação	3	92,55 ^{ns}	1092,52 ^{ns}
Blocos	2	876,16 [*]	2224,10 ^{ns}
Resíduo	14	213,83	2016,40
CV %		22,70	22,90
Tratamentos	Médias		
		Nº de frutos	Peso (g)
Nordestina		61,25 a	185,81 a
Paraguaçu		67,58 a	206,43 a
DMS		12,80	39,31
40 % de água disponível		-	-
60 % de água disponível		8,66	15,47
80 % de água disponível		34,50	85,12
100 % de água disponível		214,50	683,89

GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$).

Tabela 23 - Resumo de análise de variância referente ao **número de sementes (NS)**, **peso total de sementes (PTS)** e **peso de 100 sementes (PCS)** das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		Número de sementes	Peso total de sementes	Peso de 100 sementes
Cultivares	1	1148,16 ^{ns}	1023,12 ^{ns}	442,04 [*]
Água disponível	3	495590,27 ^{**}	191862,38 ^{**}	4555,86 ^{**}
Regressão Polinomial Linear		1.090.613,33 ^{**}	492949,53 ^{**}	13436,60 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática		352837,50 ^{**}	153488,02 ^{**}	93,61 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica		43320,00 ^{**}	19149,60 ^{**}	137,38 ^{ns}
Interação	3	1311,16 ^{ns}	442,54 ^{ns}	102,37 ^{ns}
Blocos	2	7136,00 [*]	358,90 ^{ns}	78,30 ^{ns}
Resíduo	14	1696,14	807,96	82,41
CV %		22,41	26,79	27,82
Tratamentos	Médias			
		Nº de sementes	Peso (g)	Peso (g)
Nordestina		176,83 a	99,97 a	28,35 b
Paraguaçu		190,66 a	113,03 a	36,94 a
DMS		36,06	24,88	7,95
40 % de água disponível		-	-	-
60 % de água disponível		24,16	6,48	20,83
80 % de água disponível		100,83	46,58	48,41
100 % de água disponível		610,00	372,95	61,35

GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$).

Destaca-se na análise destas tabelas que as plantas cultivadas sob nível mais baixo de água disponível no solo (40% AD) nada produziram e que as plantas mantidas sob nível de 60 % AD apresentaram uma produção insignificante. Comparando-se a média deste segundo tratamento com a média das plantas que não foram submetidas a estresse hídrico, temos o equivalente a 4 e 3,9 %, respectivamente, do total de frutos e sementes produzidos pelas plantas conduzidas com 100% AD. Araújo e Ferreira (1997), estudando a oleaginosa amendoim sob efeitos de déficit hídrico, obtiveram resultados semelhantes ao reduzirem, tanto continuamente como alternadamente, a disponibilidade de água às plantas.

Quedas de 10,5 e 15,8 % nas produtividades da cultivar de mamona “Pronto” foram detectadas por Koutroubas et al. (2000), ao reduzirem as lâminas de irrigação para respectivamente em 0,75 e 0,50 da Evapotranspiração Máxima da cultura (ETm). Laureti (2002), por sua vez, obteve queda de 8,7 % na produção do híbrido de mamona ISCIOR 101 ao reduzir em um terço a lâmina de irrigação, também com base na ETm. Lacerda (2006) submetendo plantas de Paraguaçu a estes mesmos níveis de conteúdo de água no solo (100 e 80 % de AD), observou redução de 58 % até os 120 dias após semeadura na produção de frutos e de sementes para o segundo tratamento.

No presente experimento, com o cultivo atingindo 180 dias após semeadura, a sensibilidade das cultivares ao estresse hídrico apresentou-se ainda mais acentuada, uma vez que as plantas conduzidas em solo onde o conteúdo de água foi mantido ao nível de 80 % de água disponível apresentaram reduções da ordem de 83,9 e 83,4 %, respectivamente, para frutos e sementes, quando comparadas com os totais produzidos pelos tratamentos submetidos a 100 % AD, conforme pode ser melhor observado nos gráficos relativos ao peso total de frutos e sementes apresentados por cultivar na Figura 24.

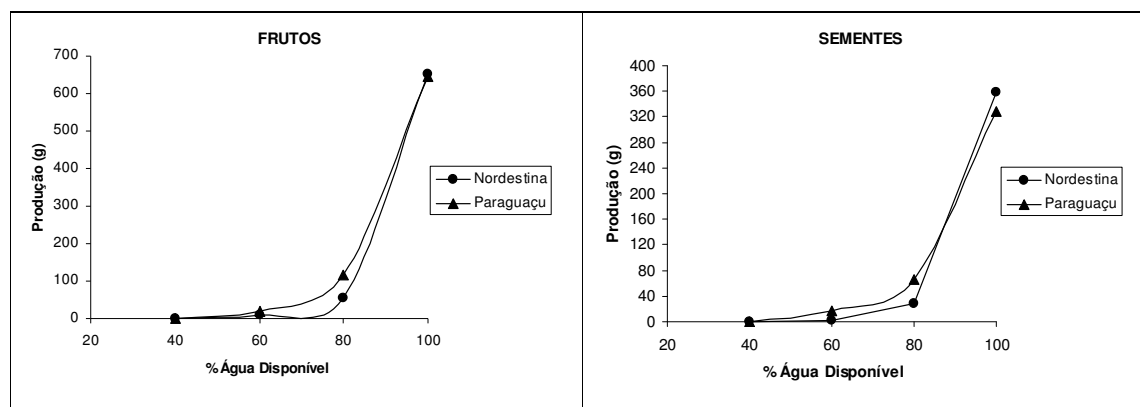


Figura 24 - Dados absolutos referentes a produção de frutos e sementes das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.

Fica claro que por terem sido mantidas durante todo o ciclo com elevada disponibilidade de água no solo, as plantas conduzidas sem estresse hídrico apresentaram um pleno desenvolvimento tanto da área foliar como do sistema radicular, alcançando com isto excelentes taxas de crescimento e, conseqüentemente, uma alta produção de fotoassimilados,

que redundou numa produção média para este tratamento de 214 frutos dos quais foram extraídas 610 sementes (Tabelas 22 e 23), com pesos médios respectivos de 684 e 373 gramas, para frutos e sementes, respectivamente.

Estes dados diferem dos resultados apresentados por Nascimento (2003), que conduzindo plantas de Nordestina por 250 dias, irrigadas com água de abastecimento e sem estresse hídrico, obteve uma média de 16 frutos e 31 sementes por planta, contra 35 frutos e 102 sementes, também em média, obtidos por planta no presente ensaio, e de Coelho (2006), que também com esta mesma cultivar até 150 dias, em ausência de estresse hídrico, obteve uma média de fruto para o tratamento com água similar a usada neste ensaio, de 11 unidades por planta.

Silva (2004), por sua vez trabalhando com Paraguaçu, também por 150 dias e nas mesmas condições dos demais (água de abastecimento e sem estresse hídrico), obteve um peso médio de sementes por planta de 8,3 gramas, valor 2,7 vezes abaixo das 22 gramas registrado por Lacerda (2006), para esta cultivar aos 120 dias após semeio, estando ambos ainda muito abaixo da média de peso (62,15g) das sementes colhidos por planta conduzida no presente ensaio. Isto demonstra haver boa qualidade no padrão das bagas obtidas nos tratamentos produzidos sem estresse hídrico, que mesmo assim, levando-se em conta a relação do peso destas sementes com dos frutos, ainda é um rendimento considerado baixo por Nobrega et al. (2001).

Comparando-se o valor médio do peso de 100 sementes, obtido com o tratamento submetido a 100 % de água disponível (Tabela 24) com os índices apresentados para Nordestina (68 g) e Paraguaçu (71 g) por Beltrão et. al (2001) e por Carvalho (2005), tem-se tanto em Nordestina (63,2 g), quanto em Paraguaçu (67,3 g) valores abaixo destes; entretanto, os primeiros autores também afirmam que, para cultivares de porte médio, como é o caso neste experimento, pode-se esperar uma variação no peso de 100 sementes de 45 a 75 g.

Como nesta variável a cultivar Paraguaçu apresentou diferença estatística significativa em relação à Nordestina (Tabela 23), optou-se por apresentar a distribuição média do peso de 100 sementes separadamente por cada uma delas em seus respectivos níveis de água, conforme Tabela 24 a seguir. É importante notar ainda que na cultivar Nordestina, o tratamento de 100 % AD chegou a superar o tratamento imediatamente abaixo (80 % AD) em

23,1 g (queda de 36,6 %); na Paraguaçu esta diferença foi menos acentuada, registrando-se entre estes mesmos tratamentos uma redução de 10,6 g (queda de 15,8%).

Tabela 24 - Dados médios referentes ao peso de 100 sementes obtidos para as cultivares Nordestina e Paraguaçu aos 180 dias após semeio – Campina Grande – PB , 2007.

Peso médio – 100 sementes (g)		
% AD	Nordestina	Paraguaçu
40	-	-
60	13,6	28,2
80	40,1	56,7
100	63,2	67,3

AD – água disponível no solo

A Figura 25 mostra as tendências polinomiais cúbicas apresentadas pelas variáveis de produção para a duas cultivares, suas respectivas equações de regressão e coeficientes de determinação e a tendência linear apresentada pela variável Peso de 100 sementes, onde constata-se uma ganho de 1,05 grama por lote de sementes para cada incremento unitário em percentagem de volume da água disponível no solo.

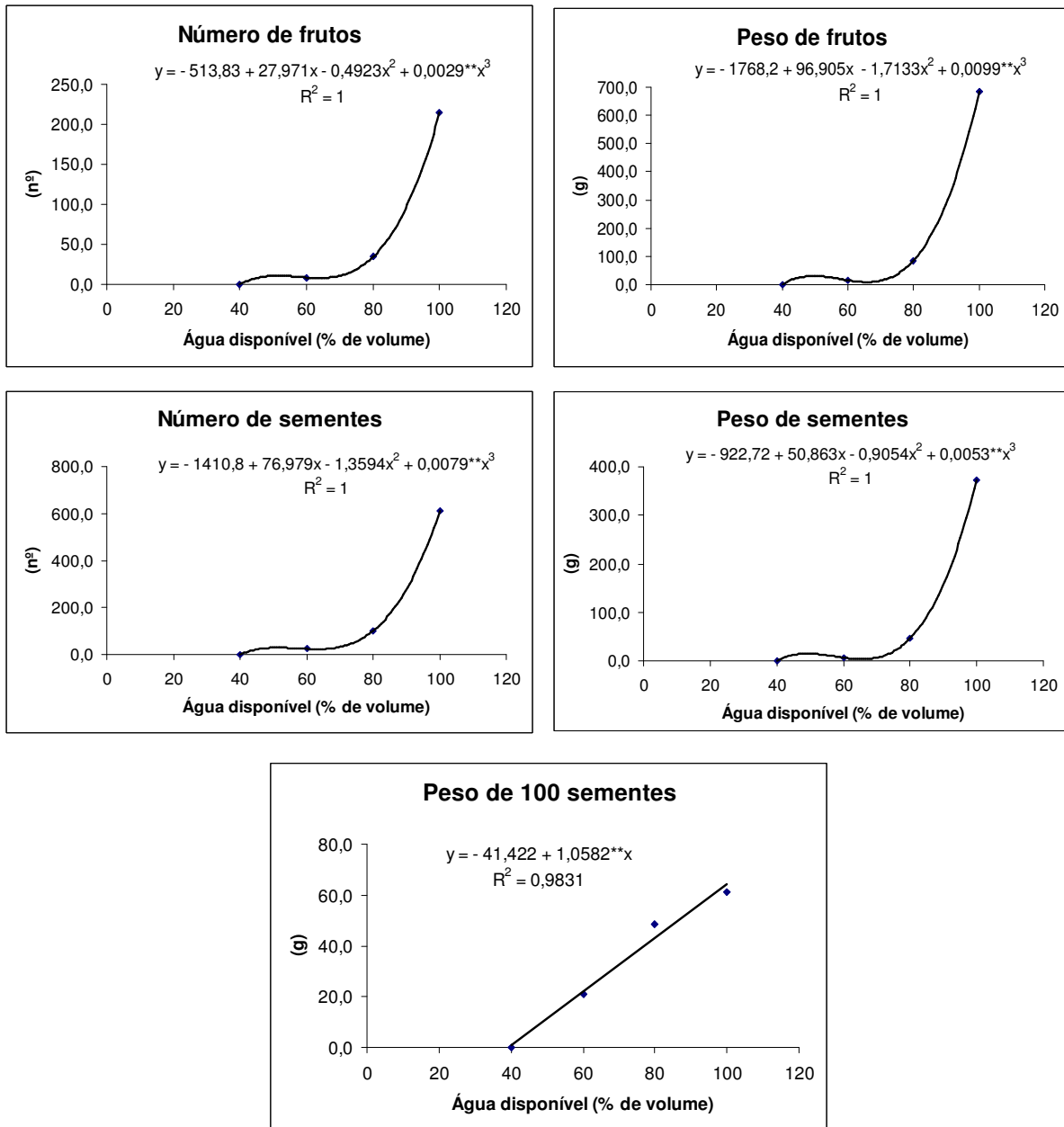


Figura 25 - Produção de frutos e sementes das cultivares de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.

Em função da produção efetiva expressa em dados médios absolutos, é possível estimar para uma área de cultivo com stand de 5.000 plantas/ha (espaçamento simples de 2m x 1m), a partir dos tratamentos mantidos na capacidade de campo que produziram 370,1 g (Nordestina) e 375,8 g (Paraguaçu) de sementes, uma produtividade em torno de 1.850,5 kg

ha⁻¹ de sementes (ou 3.364,5 kg ha⁻¹ de bagas) para a primeira cultivar e 1.879 kg ha⁻¹ de sementes (ou 3.416,4 kg ha⁻¹ de bagas) para cultivar Paraguaçu.

Rendimentos semelhantes em experimento irrigados usando as cultivares de porte médio “HD912” (3.300 kg ha⁻¹) e “Pronto” (3.800 kg ha⁻¹) foram obtidos por Koutroubas et al. (2000) e por Gondim et al. (2004), que utilizando dois genótipos importados da Costa Rica, irrigados por aspersão no Estado do Ceará, obtiveram produtividade de 3.494,0 kg ha⁻¹ na CSRN-142, também de porte médio. As produções obtidas no presente estudo superam os 2.345,50 kg ha⁻¹ obtidos por Curi e Campelo Júnior (2004) com a cultivar IRIS irrigada no Estado do Mato Grosso, entretanto, ainda fica bem abaixo dos 5.400,00 kg ha⁻¹ conseguidos em pivô central, com Nordestina e Paraguaçu, no município baiano de Santana (CARVALHO, 2005).

4.2.11 - Produção de óleo e proteína

Na tabela 25 estão contempladas as análises de variância de dois importantes componentes da mamona, o conteúdo de óleo e de proteína bruta extraídos de suas sementes. É possível constatar que não houve diferença estatística significativa entre as cultivares no que se refere a produção destes produtos até o terceiro cacho, ponto até onde foi possível determinar os teores destes produtos nos tratamentos conduzidos abaixo da capacidade de campo; entretanto, no tocante aos diferentes níveis de água a que foram submetidas as plantas, a diferença estatística apresenta-se altamente significativa. Por outro lado não se constatou significância estatística para a interação Cultivar x Água disponível.

Tabela 25 - Resumo de análise de variância referente aos percentuais (%) de **óleo** e **proteína bruta** produzidos nos três primeiros cachos pelas cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		Óleo	Proteína bruta ¹
Cultivares	1	56,73 ^{ns}	0,37 ^{ns}
Água disponível	3	2967,30 ^{**}	16,88 ^{**}
Regressão Polinomial Linear		7773,40 ^{**}	50,22 ^{**}
Reg. Pol. Quadrática		1072,80 ^{**}	0,28 ^{ns}
Reg. Pol. Cúbica		55,70 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Interação	3	53,79 ^{ns}	0,64 ^{ns}
Blocos	2	33,36 ^{ns}	0,90 ^{ns}
Resíduo	14	24,03	0,42
CV %		29,70	21,61
		Médias	
Tratamentos		% de óleo	% de proteína
Nordestina		15,24 a	2,89 (10,27) a
Paraguaçu		18,31 a	3,13 (10,96) a
DMS		4,36	0,57
40 % de água disponível		-	1,0 (0,0)
60 % de água disponível		-	2,37 (5,58)
80 % de água disponível		20,18	3,87 (14,63)
100 % de água disponível		46,92	4,81 (22,26)

GL - grau de liberdade; ¹ – dados transformados em $\sqrt{X + 1}$; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; DMS – diferença mínima significativa; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p \leq 0,05$); Os dados apresentados entre parênteses referem-se aos originais sem transformação.

O estresse hídrico causado pela diminuição do conteúdo de água no solo, provocou reduções significativas no teor de óleo encontrado nas sementes. Em virtude da baixa qualidade das sementes produzidas (a grande maioria era chocha) pelas plantas conduzidas com 60 % de AD, as amostras levadas ao compartimento do equipamento de Ressonância Magnética Nuclear para determinação do teor de óleo, não conseguiram alcançar o padrão mínimo de leitura requerido pelo instrumento. Analisando-se as médias dos tratamentos mantidos a 100 e 80 % de AD, constata-se uma redução de mais de 53 % na produção de óleo para as plantas que tiveram a disponibilidade de água no solo diminuída.

Esta situação pode ser melhor observada quando analisa-se a Tabela 26, na qual se percebe que na evolução dos três primeiros cachos, as plantas sem estresse hídrico mantêm o mesmo padrão na quantidade de óleo produzido, fato que não se repete para as plantas conduzidas com 80 % de água disponível, que, mesmo apresentando um razoável teor de óleo no primeiro cacho, acusa uma queda de mais de 74 % de produção de produto no 2º cacho, caindo ainda mais no cacho seguinte.

Tabela 26 - Percentual (%) médio de óleo produzido no 1º, 2º e 3º cachos das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Tratamentos	1º cacho	2º cacho	3º cacho
	% de óleo		
40 % de água disponível	-	-	-
60 % de água disponível	-	-	-
80 % de água disponível	41,66	10,66	8,16
100 % de água disponível	47,83	47,16	45,83

O teor médio de óleo (46,92 %) encontrado nas sementes das plantas conduzidas sem estresse hídrico é classificado como médio por Nóbrega et al. (2001) e dentro da faixa de 45 a 49 % previstos por Azevedo et al. (1997) e EMBRAPA (2002) para as cultivares Nordestina e Paraguaçu, conforme apresentado na Tabela 01.

Laureti (2002), em trabalhos com o híbrido “HD 912” de mamona, registrou reduções de até 50,70 % no teor de óleo das sementes quando irrigadas com reduções progressivas nas lâminas de água, proporcionais a 75, 50 e 25 % da ETc.

No que se refere a variável proteína (Tabelas 25 e 27) os resultados encontrados seguiram as tendências para teor de óleo, com exceção do tratamento conduzido a 60 % de AD onde desta vez foi possível, a partir da metodologia prevista, determinar-se o quantitativo médio presente nas amostras. Da mesma forma que no óleo, observa-se os tratamentos conduzidos sem estresse hídrico superando em 1,5 e 4 vezes, respectivamente, as médias dos tratamentos mantidos em 80 e 60 % de água disponível no solo.

Tabela 27 - Percentual (%) médio de proteína bruta produzido no 1º, 2º e 3º cachos das cultivares de mamona Nordestina (BRS 149) e Paraguaçu (BRS 188) – Campina Grande – PB, 2007.

Tratamentos	1º cacho	2º cacho	3º cacho
	% de proteína		
40 % de água disponível	-	-	-
60 % de água disponível	16,83	-	-
80 % de água disponível	25,00	9,50	7,16
100 % de água disponível	27,50	21,83	19,50

A determinação do teor de proteína presente na semente tem uma importância direta sobre a torta de mamona, que possui excelentes propriedades químicas para uso como adubo orgânico na agricultura, tendo elevado teor de nitrogênio e outros importantes macronutrientes primários presentes na sua constituição (FREIRE, 2001). Um outro uso, ainda incipiente, é a utilização desta torta como alimento animal, mas que depende de tecnologia específica para ser desintoxicada e que ainda anda longe de ser disponibilizada para o mercado (SEVERINO et al., 2004 b).

O resultado médio obtido 22,26 % de proteína nas plantas conduzidas sem estresse hídrico (Tabela 25) indica que a presença deste elemento é bastante significativa, principalmente para usos futuros como suporte alimentar de rebanhos, quando se compara com os 10,5 % de proteína existentes nas folhas do capim elefante, forrageira muito utilizada na alimentação do gado (GOMIDE, 1994).

Observa-se na Tabela 27 que os teores absolutos de proteína encontrados nos três primeiros cachos de cada tratamento variaram, diferentemente do que ocorreu com o teor de óleo; mesmo sem estresse hídrico estes conteúdos foram diminuindo a medida que os cachos foram sendo colhidos. Porém a diferença entre os teores produzidos em cada tratamento se mantiveram, principalmente a partir do 2º cacho.

Severino et al. (2004 b), em torta proveniente do esmagamento de sementes também das cultivares Nordestina e Paraguaçu no Ceará, obtiveram um teor de proteína bruta de 28,74 %. Evagelista et al. (2004), em Minas Gerais, encontram teores de 25,80 % de proteína bruta, desta vez em determinações feitas nas folhas da mamoneira.

Na Figura 26, pode-se observar a tendência polinomial quadrática apresentada pelas cultivares de mamona na produção de óleo e proteína nas sementes com o aumento da água disponível, respectivamente. A equação linear permite constatar um ganho de 0,065 % de proteína bruta a cada incremento unitário em porcentagem de volume da água disponível no solo.

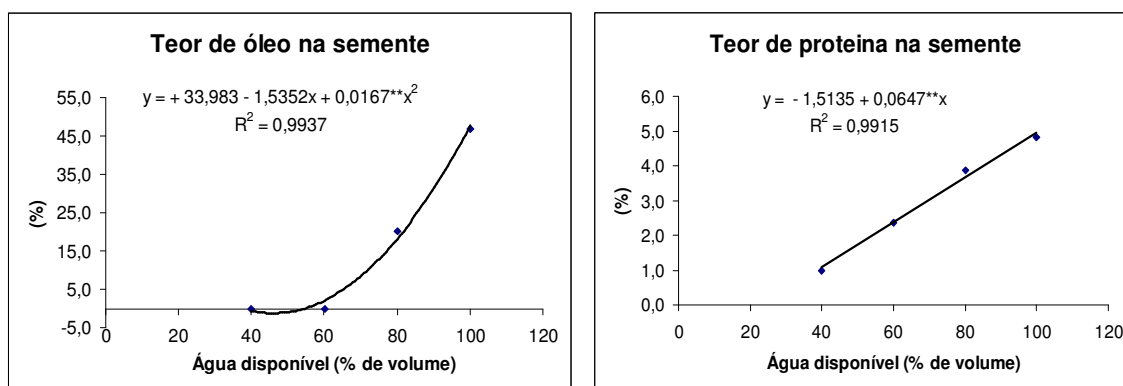


Figura 26 - Teores de óleo e proteína extraídos das sementes de mamona Nordestina e Paraguaçu em função de diferentes níveis de água no solo aos 180 DAS.

5 - CONCLUSÕES

- A técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), aplicada através do modelo $HH2 - \Delta T$, foi eficiente na determinação do conteúdo de água do solo e no monitoramento das irrigações;
- Não houve diferenças significativas entre as cultivares estudadas no que se refere a resistência ao déficit hídrico, nem registro de adaptações às condições limitantes de escassez de água no solo, com as cultivares Nordestina e Paraguaçu mostrando-se sensíveis a falta de água;
- A diminuição no conteúdo de água presente no solo provocou alterações significativas nos processos fisiológicos essenciais ao crescimento/desenvolvimento das cultivares de mamona; plantas submetidas aos tratamentos de 40 e 60 % de água disponível no solo, praticamente paralisaram o seu desenvolvimento aos 60 dias após semeadura.
- Reduções no conteúdo de água do solo interferem significativamente na produção da mamoneira, tanto quantitativamente quanto qualitativamente, diminuindo a quantidade de bagas e os teores de óleo e proteína nas sementes; porém, quando não submetidas ao estresse hídrico estas cultivares são eficientes na transformação da água consumida em matéria seca, redundando, conseqüentemente, numa maior produção de frutos por unidade produtiva.

6 - BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, C. M.; ALMEIDA NETO, J.A. de; PIRES, M de M.; ROCHA, P.K. a produção de mamona no Brasil e o programa brasileiro de desenvolvimento tecnológico do biodiesel. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD –ROM

AMORIM NETO, M. da S.; ARAÚJO, A.E. de; BELTRÃO, N. E. de M. Clima e Solo. In: AZEVEDO, D. M. P. de e LIMA, E. F. (Editores Técnicos). **O Agronegócio da Mamona no Brasil**. EMPRAPA – ALGODÃO (Campina Grande, PB). - Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2001, cap. III, p.63-74. ISBN 85-7383-116-2.

ANDRADE, C. de L. T; COSTA, E. L. da; ALBUQUERQUE, P. E. P. de. Desenvolvimento e calibração de guias de onda para TDR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.7, n. 1, p. 173 – 176, 2003. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.

ARAÚJO, A. E de.; AMORIM NETO, M. da S.; BELTRÃO, N. E. de M. Municípios aptos e épocas de plantio para o cultivo da mamoneira no Estado da Paraíba. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v.4, n.2, p.103-110, mai-ago. 2000.

ARAUJO, W. F; FERREIRA, L. G. R. Efeito do déficit hídrico durante diferentes estádios do amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.5, p.481-484, 1997.

AZEVEDO, D.M.P. de.; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S.; BELTRÃO, N. E. de M.; SOARES, J. J.; VIEIRA, R. de M.; MOREIRA, J. de A. N. **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) no nordeste do Brasil**. Campina Grande, PB: EMBRAPA - CNPA, 1997. 52p. (EMBRAPA - CNPA. Circular Técnica, 25).

BARRETO, A.N.; BELTRÃO, N. E. de M.; BEZERRA, J. R. C.; LUZ, M.J. da. S. Efeito da configuração de plantio na cultura do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H, irrigado por sulco. In: **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Algodão – 1992/1993**, Campina Grande - PB, EMBRAPA – CNPA, 1994, p. 155-157.

BELTRÃO, N. E. de M. **Crescimento e desenvolvimento da mamoneira (*Ricinus communis* L.)**. COMUNICADO TÉCNICO Nº 146 – EMBRAPA Algodão – Campina Grande, Janeiro de 2003. 4p. il.

BELTRÃO, N. E. de M.; CARTAXO, W. V.; PEREIRA, S. R. de P.; SOARES, J.J; SILVA, O.R.R.F. **O cultivo sustentável da mamona no semi-árido brasileiro**. Campina Grande: 2006. 62p. (EMPRAPA ALGODÃO. Cartilha, 1).

BELTRÃO, N. E. de M. SILVA, L. C.; VASCONCELOS, O. L.; AZEVEDO, D. M. P .de; VIEIRA, D. J. Fitologia. In: Azevedo, D. M. P. de & Lima, E. F (Editores Técnicos). **O Agronegócio da Mamona no Brasil**. EMPRAPA – ALGODÃO (Campina Grande, PB). - Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2001, cap. II, p.37-59. ISBN 85-7383-116-2.

BELTRÃO, N. E. de M. SILVA, L. C.; MELO, F. de B. **Cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) para o semi-árido nordestino, em especial do Piauí**. Campina Grande: EMPRAPA ALGODÃO/EMBRAPA-CPAMN, 2002. 44p (EMBRAPA Algodão. Documentos, 97).

BELTRÃO, N. E. de M.; SOUZA, J.G. de; SANTOS, J.W.dos; JERONIMO, J.F.; COSTA, F.X.; LUCENA, A.M.A. de; QUEIROZ, U. C. de. Fisiologia da mamoneira, cultivar BRS 149 Nordestina na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v.7, n.1, p.659-664, jan-abr. 2003.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

BOUYOUCOS, G. J. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. **Agronomy Journal** 43 (9): 434 – 438. 1951.

CAMARGO, A. P. M de; ZABINI, A.V. Diagnóstico nutricional da mamoneira em resposta a adubação foliar no oeste da Bahia. In: Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 1, 2006, Varginha. **Anais....**Universidade Federal de Lavras, 2006.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n.1, p. 183 – 188. 1995.

CARNEIRO, J. O. **Recursos de Solo e Água no Semi-Árido Nordestino**. João Pessoa: A UNIÃO, 1998. 115 p.

CARTAXO, W.V.; BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, O.R.R.F da; SEVERINO, L.S.; SUASSUNA, N. D.; SOARES, J.J. **O cultivo da Mamona no Semi-árido brasileiro**. CIRUCLAR TÉCNICA Nº 77 – EMBRAPA Algodão – Campina Grande, Junho de 2004. 20 p. il.

CARVALHO, B. C. L. **Manual do cultivo da mamona**. Salvador: EBDA, 2005. 65 p. il.

CAVALCANTI, M.L.F. **Germinação e crescimento inicial da mamoneira irrigada com águas salinas**. Campina Grande. 2003. 46p. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal de Campina Grande.

CHIERICE, G. O.; NETO, S. C. Aplicação Industrial do Óleo. In: Azevedo, D. M. P. de & Lima, E. F (Editores Técnicos). **O Agronegócio da Mamona no Brasil**. EMPRAPA – ALGODÃO (Campina Grande, PB). Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2001, cap. v, p.89-120. ISBN 85-7383-116-2.

CICHOTA, R. **Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo**. Piracicaba, 2003. 121p. (Dissertação de Mestrado) - ESALQ, USP.

COELHO, D. K. **Crescimento e desenvolvimento da mamoneira em função da irrigação com águas salinas e matéria orgânica**. Campina Grande. 2006. 85p. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal de Campina Grande.

COELHO, E.F.; ANDRADE, C.L.T.; OR, D.; LOPES, L.C.; SOUZA, C.F. Desempenho de diferentes guias de ondas para uso com o analisador de umidade TRASE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v.5, n.1, p.81-87, 2001.

COELHO FILHO, M. A; COELHO, R. D. e GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade espacial de variáveis físico - hídricas do solo em um pomar de lima ácida Tahiti, irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.5, n.2, MAI-AGO. 2001. pg 239-246.UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA.

CURI, S. e CAMPELO JÚNIOR; J.H. Evapotranspiração e coeficientes de cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.), em Santo Antônio do Leverger - MT. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD –ROM

DAKER, A. **Irrigação e Drenagem: a água na agricultura**. 3º vol., 7 ed. Rev. ampl. Rio de Janeiro, 1988. Freitas Bastos. 534 p.il.

DOORENBOS, J; KASSAM, A. H; tradução de H. R. Gheyi, A. A. de Sousa, F. A. V. Damasceno, J. F. de Medeiros. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1979. 306p.:il.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O; tradução de GHEYI, H.R.; METRI, J.E.C.; DAMASCENO, F.A.V. **Necessidades hídricas das culturas**. UFPB, Campina Grande, 1977. 204 pg.:il.

DRUMMOND, A.R.F.; Gazineu, M.H.P.; ALMEIDA, L.; MAIOR, A.S. Produção e valor energético da torta de mamona no agreste pernambucano. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2., 2006, Aracajú. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD –ROM.

DUTRA, M.R.; PAIVA, B.R.T.L.; SILVA, R.V.B.; CAMPOS, V.P.; GARCIA, E.P.; CASTRO NETO, P.; FRAGA, A.C. Utilização de produtos alternativos no controle do nematóide *Meloidogyne exigua* em cafeeiros da região sul de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD – ROM

EMBRAPA - Tema: **Ecosistema\Trópico Semi-Árido**. O Semi-Árido não é fácil mas difícil também não é (15/04/1997). www.sede.embrapa.br/noticias/banco_de_noticias. Acessado em 16 de Fevereiro de 2007. (a)

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (Campina Grande, PB). **Banco de dados**. Campina Grande, 2000.

EMBRAPA ALGODÃO. **BRS – 149 Nordestina e BRS – 188 Paraguaçu**. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2002. 2 folder.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 2^a Ed. 1997, 211p. (b)

EVANGELISTA, A. R.; ABREU, J. G de; PERON, A. J.; FRAGA, A. C.; CASTRO NETO, P. Avaliação da composição química de tortas de mamona e amendoim obtidas por diferentes métodos de extração de óleo. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD – ROM

FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA/DPU, 1989. 429p. (EMBRAPA CNPAF. Documento, 18).

FERREIRA, P. V. **Estatística aplicada a agronomia**. 3 ed. Maceió: EDUFAL, 2000. 422 p.: il.

FEREIRA, G. B.; SANTOS, A. C. M.; XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M. M.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M.; DANTAS, J. P.; MORAES, C. R. de A. Deficiência de fósforo e potássio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD –ROM. (a)

FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; SANTOS, A. C. M.; XAVIER, R. M.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M.; DANTAS, J. P.; MORAES, C. R. de A. Deficiência de enxofre e micronutrientes na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD – ROM. (b)

FELIPPE, G. M. Desenvolvimento. In: FERRI, M.G (coordenador). **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU / EDUSP, 1979. p. 1 – 38

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 122p.: il.

FREIRE, R. M. M. Ricinoquímica. In: Azevedo, D. M. P. de & Lima, E. F (Editores Técnicos). **O Agronegócio da Mamona no Brasil**. EMPRAPA – ALGODÃO (Campina Grande, PB). - Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2001, cap. XIII, p.295-335. ISBN 85-7383-116-2.

FREIRE, E. C.; LIMA, E. F.; ANDRADE, F. P. de. Melhoramento Genético. In: Azevedo, D. M. P. de & LIMA, E. F (Editores Técnicos). **O Agronegócio da Mamona no Brasil**. EMPRAPA – ALGODÃO (Campina Grande, PB). - Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2001, cap. X, p.229-256. ISBN 85-7383-116-2.

FREITAS, S. M. Ricinocultura do século 21: propiciando o desenvolvimento sustentável. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...Campina Grande: Embrapa Algodão**, 2004. CD – ROM.

GLOBO RURAL. Mamona para o biodiesel perde o brilho. Disponível em www.revistagloborural.globo.com/GloboRural. Acesso em 29/06/05.

GOMES, H. P. Engenharia **de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 3 ed. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 412 p.

GOMIDE, J.A. Manejo de pastagem para produção de leite. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE FORRAGEIRAS, A, Maringá, 1994. **Anais....** Maringá: SBZ. 1994. p.141-168.

GONDIM, T. M. de S.; NOBREGA, M. B. de M.; SEVERINO, L. S.; VASCONCELOS, R. A. de. Adensamento de mamoneira sob irrigação em Barbalha, CE. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...Campina Grande: Embrapa Algodão**, 2004. CD – ROM.

GRANER, E. A.; GODOY JÚNIOR, C. **Culturas da fazenda brasileira**. 4. ed. São Paulo: Melhoramento, 1967. 461p.

GUERRA, H. O. C. **Física dos Solos**. Campina Grande: UFCG, 2000. 173p.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 12/04/2006.

IBGE - Produção Agrícola Municipal. www.sidra.ibge.gov.br – 2000. Acesso em 10/09/2006.

JOAQUIM JUNIOR, G. O. **Desempenho do reflectômetro no domínio do tempo na detecção de variações de umidade do solo**. Piracicaba, 2003. 81 p. (Dissertação mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba, CERES, 1985. 492p.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo – planta – atmosfera**. São Paulo, Nobel, p. 408, 1984.

KOURI, J.; SANTOS, R F. dos. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2., 2006, Aracajú. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD –ROM

KOURI, J.; SANTOS, R F. dos; SANTOS, J. W. Evolução da cultura da mamona no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD –ROM.

KOUTROUBAS, S. D; PAPAKOSTA, D. K; DOITSINIS, A. Water requirements for Castor Oil Crop (*Ricinus communis* L.) in a Mediterranean Climate. **J. Agronomy & Crop Science**. Berlim. 184, 33-41. 2000.

LACERDA, R. D. de. **Resposta da mamoneira BRS 188-Paraguaçu a diferentes níveis de água e matéria orgânica no solo**. Campina Grande. 2006. 82p. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal de Campina Grande.

LANGE, A.; MARTINES, A. M.; SILVA, M. A. C. da; SOREANO, M.C.M; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Efeito de deficiência de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.1, p.61-67, jan.2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: Prado, C. H B. A. São Carlos. RIMA. 2000. 531p.

LAURETI, D. Fabbisogni idrici del ricino (*Ricinus communis* L.) mediante l'impiego di coefficienti colturali e de deficit idrico. **Agroindustria**, Itália, v.01,n.3, p.165-167,dicembre 2002.

LAVRES JÚNIOR, J.; BOARETTO, R. C.; SILVA, M. G. de S.; CORREIA, D.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.145-151, fev. 2005.

LEDIEU, J.; RIDDER, P. de; CLERCK, P. de; DAUTREBANDE, S. A method of measuring soil moisture by time domain reflectometry. **J.Hydrol.** 88:319-328. 1986.

LEITE, E.R.F. **Métodos avançados de determinação da umidade e fluxo de calor no solo**. 2003 – apostila – UFCG 31 p.

LE POIDEVIN, N.; ROBINSON, L.A. Métodos de diagnósticos foliares utilizados nas plantações do grupo Booken na Guiana inglesa: amostragem e técnica de análises. **Fertilité**, n.21, p.3-11, 1964.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2ª ed. Piracicaba – ESALQ/USP, 2000. 509 p.

LIMA, J.R.de S.; ANTONINO, A. C. D., SILVA, I. de F. da. Avaliação dos componentes do balanço de energia num solo cultivado com mamona no Brejo Paraibano. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD –ROM.

LIMA, R de L. S de.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M.; FERREIRA, G. B. Teor de macronutrientes em folha de mudas de mamoneira cultivadas em deferentes substratos. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2., 2006, Aracajú. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD –ROM

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G (coordenador). **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU / EDUSP, 1979. p. 331 – 350

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola**. São Paulo – CERES, 1976. 528p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo – CERES, 1980. 254p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 201p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. de C. e; SILVA, H. R. da. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças. – Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 60 p.

MEDEIROS, J. F. de. GHEYI, H.R. **Irrigação – Riscos de Salinização em Áreas Irrigadas** - Série Engenharia Agrícola, v1. pg 255 – 314. Piracicaba, FUNEP, 2001.

MELO FILHO, J.F. de. **Variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica em função da umidade de um latossolo sob condições de campo**. Tese de Doutorado. ESALQ – USP. Jan 2002. 145 p.

MENDES, B. V. **Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável do Semi-árido**. Fortaleza: SEMACE, 1997, 108p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Agenda 21 brasileira – Bases para discussão**. Brasília, 2000. 196 p;

MIRANDA, J. H. de; GONÇALVES, A. C. A. e CARVALHO, D. F. de. **Irrigação – Água e Solo** - Série Engenharia Agrícola, v1. pg 01 – 62. Piracicaba, FUNEP, 2001.

MODESTO, Z. M. M. e SIQUEIRA, N.J.B. **Botânica**. São Paulo: EPU, 1981. 2ª reimpressão. 356p.il.

MORAES, C. R. de A.; SEVERINO, L.S. Influência da saturação hídrica do solo sobre o desenvolvimento da mamoneira. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD –ROM.

NASCIMENTO, M.B.H. do. **Modificações no ambiente edáfico, na água e na mamoneira submetidos ao uso de biossólido e água residuária**. Campina Grande. 2003. 75p. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal de Campina Grande.

NOBREGA, M.B. de M.; ANDRADE, F.P. de; SANTOS, J.W.dos; LEITE, E.J. Germoplasma. In: AZEVEDO, D.P.M. de; LIMA, E.F. (Editores). **O Agronegócio da Mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001. cap. 11, p 257- 280.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: **Métodos de pesquisa em fertilidade de solo**. Brasília: EMBRAPA. 1991. 392 p. (EMBRAPA – SEA. Documentos, 3).

OTTO, S.R.L.; ALCAIDE, M. Utilização do método TDR-tensiômetro na obtenção da curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V5, n2. p 265 – 269, 2001. Universidade Federal de Campina Grande

OXFORD Instruments. **Oxford 4000**: instructions manual. England, 1995. p. irr.

PACHECO, D. D.; SATURNINO, H. M.; GONÇALVES, N. P.; SANTOS, D. A.; LOPES, H. F.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B. de; PINHO, D. B.; MENDES, L. D. e SOUZA, R. P. D. de. Diagnóstico nutricional para macronutrientes em mamoneiras adubadas com NPK em solo de chapada da Bacia do Rio do Jequitinhonha. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2., 2006, Aracaju. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD –ROM. (a)

PACHECO, D. D.; SATURNINO, H. M.; GONÇALVES, N. P.; SANTOS, D. A.; LOPES, H. F.; SOUZA, R. P. D. de; DOURADO, I. C.; ANTUNES, P. D.; RIBEIRO, D. P. Diagnóstico nutricional para micronutrientes em mamoneiras adubadas com NPK em solo de chapada da Bacia do Rio do Jequitinhonha. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2., 2006, Aracajú. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD –ROM. (b)

PARENTE, E. J. de S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza 2003, 66p.

PEREIRA, M. N. B. **Comportamento de duas cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum*, L. r. *Latifolium Hutch L.*) em baixos níveis de água disponível do solo**. Campina Grande. 1995. 109p. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal da Paraíba.

PIRES, M. de M.; ALVES, J. M.; ALMEIDA NETO, J. A. de; ALMEIDA, C. M.; SOUSA, G. S. de; CRUZ, R. S. de; MONTEIRO, R.; LOPES, B. S.; ROBRA, S. Biodiesel de mamona: uma avaliação econômica. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD –ROM.

QUEIROZ, W. N. de; QUEIROZ, W. C. de; BELTRÃO, N. E. de M; DANTAS, R. T. Alterações no crescimento da mamoneira (*Ricinus communis l.*) submetida a diferentes doses de nitrogênio e de temperaturas. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2., 2006, Aracajú. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD –ROM.

RAMOS, N. P.; AMORIM, E. P.; GALLI, J. A.; MARTINS, A.L.M.; BRANCALIÃO, S.R.; SAVY FILHO, A.; BOLONHEZI, D. Desempenho vegetativo de mamona sob diferentes sistemas de manejo do solo. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2., 2006, Aracajú. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD –ROM.

REBOUÇAS, A. da C.; MARINHO, M.E. **Hidrologia das Secas do Nordeste do Brasil**. Recife, SUDENE – DNR, Divisão de Hidrologia, 1972. 126 p.

REICHARDT, K. A água: absorção e translocação. In: FERRI, M. G. (Coord.). **Fisiologia**

vegetal 1. São Paulo: EPU. Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. v.1, cap. 1, p.03-24.

REICHARDT, K. e TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera – Conceitos, Processos e Aplicações.** Manole. Barueiri, SP. 2004. 469 P.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no Sistema Solo Planta Atmosfera.** V.1. Fundação Kargill, Campinas, 1985.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.,V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação.** Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG. 1999. 359p.:il.

RIBEIRO, M. B. Transposição e as água do Nordeste. Brasília: 2005. Disponível em: < <http://www.joaosuassuna.hpg.ig.com.br/bomfim.htm> > Acesso em 12 Dez. 2006.

RIGHES, A. A.; AMARAL, L. G. H. do; COSTA, R. D.; ROSA, G. M. da; WILLES, J. A.; GOMES, A. C. dos S. **Determinação da água no solo e na planta para irrigação.** Santa Maria: UFSM, 2003. 97p.

RODRIGUES, L. N.; NERY, A. R.; CARVALHO, A. de P.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M. Crescimento da mamoneira em altura e diâmetro caulinar irrigada com esgoto doméstico sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2., 2006, Aracajú. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD –ROM. (a)

RODRIGUES, L. N; NERY, A. R.; CARVALHO, A. de P.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M. Crescimento foliar da mamoneira irrigada com esgoto doméstico sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2., 2006, Aracajú. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD – ROM. (b)

RODRIGUES, L. N; NERY, A. R.; CARVALHO, A. de P.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M. Mamoneira irrigada com efluente de esgoto doméstico sob diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2., 2006, Aracajú. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD –ROM. (c)

RODRIGUES, T. R. I.; BATISTA, H.S.; CARVALHO, J. M. de; GONÇALVES, A.O.; MATSURA, E.E. Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.5, n.2, MAI-AGO. 2001. pg. 187-191. UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA.

ROSÁRIO, M. J. Eletrônica Rápida – Instituto Superior Técnico – disponível em <http://alfa.ist.utl.pt/~mrosario/er/folhas/anexo1.pdf>. Acesso em 25 de Janeiro de 2004.

SALMERON, R.A. **Introdução à eletricidade e ao magnetismo**. São Paulo, D. SALMERON C. GOMES EDITORA. 1962. 443 p.

SAMPAIO, E. **Fisiologia Vegetal – teoria e experimentos**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 1998. 190 p.il.

SANTOS, A. C. M.; FERREIRA, G. B.; XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M. M.; SEVERINO, L. S. BELTRÃO, N. E. de M.; DANTAS, J. P.; MORAES, C. R. de A. Deficiência de cálcio e magnésio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD –ROM.

SANTOS FILHO, S. V. dos; LIMA, C. B. de; OLIVEIRA, M. de; SANTOS, M. A. Absorção de nutrientes durante a fase vegetativa da mamoneira em três solos da região de Mossoró, RN sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD –ROM.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Enrolamento e expansão das folhas de milho submetidas a déficit hídrico em diferentes solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.3, n.1, JAN-ABR. 1999. pg 1-6. UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA.

SEYFRIED, M. S.; MURDOCK, M.D. Response of a new soil water sensor to variable soil, water content and temperature. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.65, n.1, p. 28-24, 2001.

SEVERINO, L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. de M.; LUCENA, A. M. A. de; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD –ROM. (b)

SEVERINO, L.S.; LIMA, C.L.D. de; BELTRÃO, N. E. de M.; CARDOSO, G. D.; FARIAS, V. de A. Mamoneira submetida a encharcamento do solo. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD – ROM. (a)

SEVERINO, L. S.; MORAES, C. R. de A.; CARDOSO, G. D.; BELTRÃO, N. E. de M.; VIRIATO, J. R. Poda da mamoneira para cultivo bianual em Assu, RN. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD –ROM. (c)

SHAINBERG, I.; OSTER, J. D. **Quality of irrigation water**. Dagan: International Irrigation Center, 1978. 65p.

SILVA, E.L. da. Determinação automática do teor de água em Latossolo Roxo Distrófico com uso da Reflectometria de Onda. XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. **Anais ...**Volume I, 1998. Poços de Caldas, MG, UFLA/SBEA, 1998.

SILVA, E. L. da; GERVÁSIO, E. S. Uso do instrumento TDR para determinação do teor de água em diferentes camadas de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande,PB, v3, n3, p.417-420, 1999.

SILVA, L. C da.; BELTRÃO, N. E. de M. Incremento de fitomassa e produtividade do amendoimzeiro em função de lâmina e intervalos de irrigação. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v.4, n.2, p.111-121, mai-ago. 2000.

SILVA, S. M. S. e. **Germinação, crescimento e desenvolvimento de genótipos de mamoneira irrigados com águas salinas**. Campina Grande. 2004. 74p. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal de Campina Grande.

SILVA, W. J. da. Aptidões climáticas para as culturas do girassol, da mamona e do amendoim. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v.7, n.82. p. 24-28, 1981.

SOUZA, C. F.; FAVARO, R. B. T. M.; DAROZ, T. H. da C.; SILVA, E. F. de F. e; FOLEGATTI, M. V. Metodologia para estudar a dinâmica do nitrato no solo aplicado via fertirrigação. In: VII Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingenieria Agricola, 2006, Santiago. **Anais**Santiago, CLIA, 2006. CD – ROM.

SUASSUNA, J. A pequena e média açudagem no semi-árido nordestino: uso da água na produção de alimentos. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/docs/text/textrop.html> > Acesso em 12 Dez. 2006.

TÁVORA, F. J. A. F. **A cultura da mamona**. Fortaleza: EPACE, 1982. 111p.

TOMMASELLI, J.T.G.; BACHI, O.O.S. Calibração de um equipamento de TDR para medida da umidade de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.9, p.1145-1154, 2001.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L e ANNAN, A.P. Electromagnetic determination in soil water content: measurement of coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, 16(3): 574 – 582. 1980.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Metodologia de análise foliar**. Viçosa, 1997.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Teste de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP-FCAVJ, 1994. 164p.

VIEIRA, R. M.; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S. Diagnóstico e perspectivas da mamoneira no Brasil. In: REUNIÃO TEMÁTICA MATÉRIAS – PRIMAS OLEAGINOSAS NO BRASIL,

1997, Campina Grande. **Anais**....Campina Grande: EMBRAPA – CNPA / MAA / ABIOVE, 1997. 180 p.

WENDT, C. W. Use of a relationship between leaf length and leaf area of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), castor (*Ricinus communis* L.), and Sorghum (*Sorghum vulgare* L.), **Agronomy Journal**, v. 59, p.485-487, 1967.

WIENS, P.; BRUNASSI, L. Dos; MATSURA, E. E. Utilização de um equipamento TDR (Reflectometria no domínio do tempo) para medir a condutividade elétrica do solo. IX Congresso Interno de Iniciação Científica da UNICAMP - **Anais**. Set de 2001.

WITHERS, B. e VIPOND, S. **Irrigação: projeto e prática**. 3ª ed. NOBEL. São PAULO, 1988. 339p.

ANEXOS

Leituras médias obtidas nos tensiômetros instalados a 10 e 20 cm de profundidade

Data	Leitura (cm de mercúrio - Hg)	Leitura corrigida (cm de Hg)	Tensão (cm de coluna de água)	Tensão em Atm	Tensão em Kpa	Conteúdo de água (θ) em m ³ /m ³
12/set	6,1	6,1	9,94	0,009620	0,9747126	0,386
13/set	0,6	8,6	-21,56	-0,020865	-2,1141653	0,379
14/set	2,1	10,1	-40,46	-0,039156	-3,9674920	0,356
15/set	2,95	10,95	-51,17	-0,049521	-5,0177105	0,342
16/set	3,9	11,9	-63,14	-0,061105	-6,1914841	0,326
17/set	4,5	12,5	-70,7	-0,068422	-6,9328148	0,317
18/set	5,5	13,5	-83,3	-0,080616	-8,1683659	0,303
19/set	6,5	14,5	-95,9	-0,092809	-9,4039171	0,291
20/set	7,4	15,4	-107,24	-0,103784	-10,5159131	0,282
21/set	8,1	16,1	-116,06	-0,112320	-11,3807989	0,276
22/set	9,6	17,6	-134,96	-0,130611	-13,2341256	0,264
23/set	10,3	18,3	-143,78	-0,139146	-14,0990114	0,259
24/set	12,0	20	-165,2	-0,159876	-16,1994484	0,249
25/set	12,0	20	-165,2	-0,159876	-16,1994484	0,249
26/set	14,2	22,2	-192,92	-0,186703	-18,9176609	0,238
27/set	15,3	23,3	-206,78	-0,200116	-20,2767672	0,233
28/set	16,5	24,5	-221,9	-0,214749	-21,7594285	0,229
29/set	17,6	25,6	-235,76	-0,228162	-23,1185348	0,225
30/set	18,2	26,2	-243,32	-0,235479	-23,8598655	0,223
1/out	19,1	27,1	-254,66	-0,246453	-24,9718615	0,221
2/out	20,2	28,2	-268,52	-0,259866	-26,3309678	0,218
3/out	20,7	28,7	-274,82	-0,265963	-26,9487433	0,216
4/out	20,7	28,7	-274,82	-0,265963	-26,9487433	0,216
5/out	22,8	30,8	-301,28	-0,291571	-29,5434008	0,211
6/out	22,9	30,9	-302,54	-0,292790	-29,6669559	0,211
7/out	24,7	32,7	-325,22	-0,314739	-31,8909479	0,207
8/out	26,5	34,5	-347,9	-0,336688	-34,1149400	0,204
9/out	28,1	36,1	-368,06	-0,356199	-36,0918218	0,201
10/out	30,9	38,9	-403,34	-0,390342	-39,5513650	0,197
11/out	30,9	38,9	-403,34	-0,390342	-39,5513650	0,197
12/out	35,7	43,7	-463,82	-0,448873	-45,4820105	0,191
13/out	36,3	44,3	-471,38	-0,456189	-46,2233412	0,190
14/out	39,1	47,1	-506,66	-0,490332	-49,6828844	0,187
15/out	41,2	49,2	-533,12	-0,515939	-52,2775419	0,185
16/out	42,8	50,8	-553,28	-0,535450	-54,2544237	0,184
17/out	48,2	56,2	-621,32	-0,601297	-60,9263999	0,180
18/out	49,0	57,0	-631,4	-0,611052	-61,9148408	0,179
19/out	49,5	57,5	-637,7	-0,617149	-62,5326164	0,179
20/out	50,0	58,0	-644	-0,623246	-63,1503919	0,178
21/out	51,0	59,0	-656,6	-0,635440	-64,3859431	0,178
22/out	51,8	59,8	-666,68	-0,645195	-65,3743840	0,177
23/out	52,3	60,3	-672,98	-0,651292	-65,9921596	0,177
24/out	52,9	60,9	-680,54	-0,658608	-66,7334903	0,177
25/out	53,2	61,2	-684,32	-0,662267	-67,1041556	0,176
26/out	53,2	61,2	-684,32	-0,662267	-67,1041556	0,176
27/out	53,4	61,4	-686,84	-0,664705	-67,3512658	0,176
28/out	53,7	61,7	-690,62	-0,668363	-67,7219312	0,176
29/out	53,7	61,7	-690,62	-0,668363	-67,7219312	0,176
30/out	53,9	61,9	-693,14	-0,670802	-67,9690414	0,176
31/out	53,9	61,9	-693,14	-0,670802	-67,9690414	0,176
3/nov	54,0	62,0	-694,4	-0,672022	-68,0925965	0,176
5/nov	54,0	62,0	-694,4	-0,672022	-68,0925965	0,176
7/nov	54,3	62,3	-698,18	-0,675680	-68,4632619	0,176
10/nov	54,8	62,8	-704,48	-0,681777	-69,0810375	0,175
12/nov	54,8	62,8	-704,48	-0,681777	-69,0810375	0,175
13/nov	Rompimento da coluna de mercúrio	*	*	*	*	*

Registros das médias de temperatura na casa de vegetação durante a condução do experimento com as cultivares – Nordestina e Paraguaçu – período de Março a Agosto de 2004.

Mês	Número de dias monitorados	Médias das temperaturas	
		Máximas	Mínimas
Março	25	34,77	22,31
Abril	30	34,27	22,10
Maio	31	32,85	21,30
Junho	30	30,45	20,43
Julho	31	29,98	19,37
Agosto	05	30,80	19,80
	152	32,19	20,88

RELATORIO FOTOGRÁFICO



TDR's utilizados nos ensaios de calibração – detalhes da trincheira e das leituras do conteúdo de água do solo



Vista geral da montagem do experimento de mamona
Janeiro de 2004



Preparação do substrato para o cultivo da mamona



Manejo da irrigação – monitoramento do conteúdo de água do solo nos vasos com plantas de mamona através do TDR HH2



Detalhe do monitoramento das plantas de mamona ao longo do experimento



40% de água disponível



60% de água disponível



80% de água disponível



100% de água disponível

Aspectos das plantas aos 140 DAS

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)