



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CRESCIMENTO INICIAL DO PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas*
L.) EM FUNÇÃO DE NÍVEIS DE ÁGUA E ADUBAÇÃO
NITROGENADA**

Walker Gomes de Albuquerque

**CAMPINA GRANDE, PB
FEVEREIRO DE 2008**

WALKER GOMES DE ALBUQUERQUE

**CRESCIMENTO INICIAL DO PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas*
L.) EM FUNÇÃO DE NÍVEIS DE ÁGUA E ADUBAÇÃO
NITROGENADA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós - Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção do Título de Mestre.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem

**Orientadores: Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo (UFCG)
Prof. Dr. Napoleão Esberard de M. Beltrão (Embrapa Algodão)**

**CAMPINA GRANDE, PB
FEVEREIRO DE 2008**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

A345a

2008 Albuquerque, Walker Gomes de.

Crescimento inicial do pinhão manso (*Jathopha curcas L.*) em função de níveis de água e adubação nitrogenada / Walker Gomes de Albuquerque. — Campina Grande, 2008.

58f. : il

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Dr. Carlos Alberto de Azevedo e Dr. Napoleão Esberard de Macedo Beltrão.

1. Biodisel. 2. Pinhão Manso.. 3. Tensiometria. 4. Adubação Nitrogenada . I. Título.

CDU 662.739 (043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

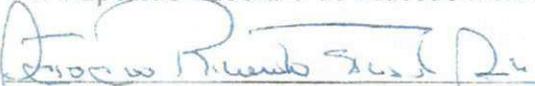
WALKER GOMES DE ALBUQUERQUE

CRESCIMENTO INICIAL DO PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.) EM FUNÇÃO DE NÍVEIS DE ÁGUA E ADUBAÇÃO NITROGENADA

BANCA EXAMINADORA


Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo - Orientador


Dr. Napoleão Esberard de Macedo Beltrão - Orientador


Dr. Antônio Ricardo Santos de Andrade - Examinador


Dr. Vera Lúcia Antunes de Lima - Examinadora

PARECER:

Aprovado

APROVADO

APROVADO

APROVADO

FEVEREIRO - 2008

A minha mãe, Cibele de Albuquerque Gomes

“Sei que palavras é muito pouco para expressar o quanto te amo e o quanto te agradeço por teres sido a grande construtora do que sou. És minha razão de viver e de continuar lutando, tu me concedeste a vida e me ensinaste a ser um homem de bem, honesto e batalhador”.

Com amor

Dedico

A meu pai Walberth Willys da Costa Gomes, por sempre ter me ajudado, à sua maneira, ensinando-me a ser um homem independente e a lutar pela vida.

A minhas irmãs Shirley Stella, Gerlane e Walberlene, por tudo que sempre fizeram por mim e por serem minhas segundas mães.

A Maria Aline de Oliveira Freire, pelo leal companheirismo, carinho, força e por me ensinar a enxergar a vida de uma forma mais simples.

Com carinho

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre fazer das barreiras encontradas em minha caminhada lições para meu crescimento pessoal, por ser a minha fortaleza e por ter me dado a oportunidade (dentre muitos) de ter feito um curso de Mestrado.

A minha família, pela confiança em mim depositada fazendo com que eu acreditasse em meu potencial.

À Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade concebida.

Ao professor Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão, pela orientação, acompanhamento na execução deste trabalho e por ter compartilhado comigo um pouco de seu brilhante conhecimento e ensinamentos valiosos que, sem dúvida, serão primordiais na minha vida profissional.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Algodão) pela grande oportunidade de executar o meu experimento.

A Liv Soares Severino, uma das melhores pessoas que já conheci, pelos conselhos, paciência, compreensão e ensinamentos, que também farão de mim uma grande pessoa e um bom profissional.

Ao Dr. João Luís da Silva Filho, que se mostrou um grande amigo, ajudando-me com sua paciência e atenção.

À Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa durante o curso de Mestrado;

Ao professor Carlos Alberto Vieira de Azevedo, por ser o meu orientador na UFCG.

Aos Drs. examinadores, Vera Lúcia Antunes de Lima e Antônio Ricardo Santos de Andrade, pela compreensão e valiosas sugestões neste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela transmissão de seus ensinamentos.

Aos colegas do curso de pós-graduação (em especial, Joelma Sales e Riuzuani Pedrosa), que estiveram comigo em todas as etapas do nosso curso.

Enfim, a todos que, de certa forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Quem avança confiante na direção de seus sonhos e busca levar a vida que imaginou, encontrará um sucesso inesperado nas horas mais comuns”

Henry David, filósofo norte-americano (1817-1862).

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2.0. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Disponibilidade de água no solo (conceitos e relações com outras propriedades).....	3
2.1.1. Densidade global	3
2.1.2. Capacidade de campo	4
2.1.3. Ponto de murcha permanente	4
2.1.4. Curva característica de retenção de água no solo	4
2.1.5. Água disponível.....	5
2.2. O uso do tensiômetro	7
2.2.1. Constituição do tensiômetro	7
2.2.2. Interpretação das leituras	7
2.2.3 Vantagens e desvantagens do uso do tensiômetro.....	9
2.3. Os elementos nutritivos principais e suas inter-relações	9
2.3.1. O nitrogênio	9
2.3.2. A necessidade de nitrogênio	10
2.3.3. O manejo do nitrogênio no solo	11
2.3.4. O nitrogênio na planta	12
2.4. A planta pinhão manso (<i>Jatropha curcas</i> L.).....	13
2.4.1. Utilizações da planta e viabilidade econômica.....	15
2.4.2. Produção e produtividade	17
3.0. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. Local do experimento e clima	18
3.2. Tratamentos e delineamento experimental.....	18
3.3. Instalação e condução do experimento	19
3.3.1. Características do solo e adubação	21
3.3.1.A. Características Físico-hídricas do solo	22
3.3.1.B. Características Químicas do solo	23
3.3.1.C. Adubação	23

3.3.2. Tratos culturais	24
3.3.2.1. Semeadura e desbaste	24
3.3.2.2. Irrigação.....	25
3.3.2.3. Controle de pragas e ervas daninhas.....	27
3.3.2.4. Avaliação das variáveis de crescimento e fitomassa.....	27
3.4. Análise estatística	28
4.0. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1. Volume de água aplicado	29
4.2. Crescimento do pinhão manso em função do tempo.....	30
4.3. Variáveis de crescimento.....	33
4.3.1. Altura da planta (AP).....	34
4.3.2. Diâmetro do caule (DC)	37
4.3.3. Área foliar (AFP).....	40
4.4. Variáveis de fitomassa	42
4.4.1. Massa seca das folhas (MSF)	43
4.4.2. Massa seca dos caules (MSC)	46
4.4.3. Massa seca das raízes (MSR)	48
5.0. CONCLUSÕES.....	51
6.0. SUGESTÕES PARA OUTROS TRABALHOS	52
7.0. BIBLIOGRAFIA	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado das combinações dos fatores doses de nitrogênio e níveis de água.....	19
Tabela 2. Características físico-hídricas do solo	22
Tabela 3. Dados da curva característica do solo.....	22
Tabela 4. Características químicas (fertilidade) do solo antes da instalação do experimento	23
Tabela 5. Volume total de água aplicado por tratamento nos quatro blocos, total global aplicado por todos os tratamentos e número de irrigações feitas em cada tratamento nos quatro blocos	29
Tabela 6. Resumos das análises de variância do experimento para estudo de regressão dos dados das variáveis de crescimento altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e área foliar por planta (AFP), do pinhão manso submetido aos diferentes tratamentos ao final de 150 DAS (Campina Grande,2007)	34
Tabela 7. Resumos das análises de variância do experimento para estudo de regressão dos dados das variáveis matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caules (MSC) e matéria seca de raízes (MSR), do pinhão manso submetido aos diferentes tratamentos ao final de 150 DAS (Campina Grande, 2007)	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tensiômetro de mercúrio	7
Figura 2. Vista parcial dos Tensiômetros de mercúrio utilizados no experimento	8
Figura 3. Folhas e frutos de pinhão manso (<i>Jatropha curcas L.</i>)	14
Figura 4. Sementes de pinhão manso (<i>Jatropha curcas L.</i>)	14
Figura 5. Casa de vegetação onde foi executado o experimento, no Centro Nacional de pesquisa do Algodão (CNPA - EMBRAPA ALGODÃO), Campina Grande, PB, 2007	18
Figura 6A. Vasos utilizados no experimento sendo perfurados	19
Figura 6B. Elocação de britas nos vasos	20
Figura 6C. Vaso com areia peneirada e sem adição de matéria orgânica	20
Figura 6D. Tensiômetro de mercúrio	21
Figura 6E. Base dos recipientes com mercúrio	21
Figura 7. Curva característica do solo do experimento	22
Figura 8. Germinação da semente de pinhão manso (<i>Jatropha curcas L.</i>)	24
Figura 9. Planilha utilizada para a medição da quantidade de água	25
Figura 10. Medição da altura da coluna de mercúrio	26
Figura 11. Somatório do volume total de água aplicado por tratamento, em que: N são doses de nitrogênio ($N_1 = 0$ (testemunha), $N_2 = 60$, $N_3 = 120$ e $N_4 = 180 \text{ Kg.ha}^{-1}$), aplicado na forma de sulfato de amônio $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ e L são os níveis de irrigação ($L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ da água disponível), Campina Grande, PB, 2007)	30
Figura 12. Altura média da planta (AP), diâmetro médio do caule (DC) e área foliar por planta (AFP) do pinhão manso em função DAS, quando submetidos à quatro	

dosagens de nitrogênio: $N_1 = 0$, $N_2 = 60$, $N_3 = 120$ e $N_4 = 180 \text{ Kg ha}^{-1}$ (Campina Grande, PB, 2007)	31
Figura 13. Altura média da planta (AP), diâmetro médio do caule (DC) e área foliar por planta (AFP) do pinhão manso em função DAS, quando submetidos à quatro níveis de fração de esgotamento admissível da água no solo: $L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ (Campina Grande, PB, 2007)	32
Figura 14. Curvas da resposta de altura da planta (AP) de pinhão manso às doses de nitrogênio (N) dentro dos níveis de água disponível no solo (L), em que: $L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ aos 150 (DAS)(Campina Grande, PB, 2007)	35
Figura 15. Valores médios dos dados de altura da planta (AP) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007)	36
Figura 16. Valores médios dos dados de altura da planta (AP) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todos os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007)	36
Figura 17. Curvas da resposta do diâmetro do caule (DC) de pinhão manso às doses de nitrogênio (N) dentro dos níveis de água disponível no solo (L), em que: $L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ (Campina Grande, PB, 2007)	37
Figura 18. Valores médios dos dados do diâmetro do caule (DC) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007)	38
Figura 19. Valores médios dos dados do diâmetro do caule (DC) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todas os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007)	38
Figura 20. Curvas da resposta da área foliar (AFP) de pinhão manso às doses de nitrogênio (N) dentro dos níveis de água disponível no solo (L), em que: $L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ (Campina Grande, PB, 2007)	40

Figura 21. Valores médios dos dados da área foliar da planta (AFP) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007)	41
Figura 21. Valores médios dos dados da área foliar da planta (AFP) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todas os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007)	41
Figura 23. Curvas da resposta da matéria seca de folhas (MSF) de pinhão manso às doses de nitrogênio (N) dentro dos níveis de água disponível no solo (L), em que: $L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ (Campina Grande, PB, 2007)	44
Figura 24. Valores médios dos dados da matéria seca das folhas (MSF) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS) do pinhão manso com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007)	45
Figura 25. Valores médios dos dados da matéria seca das folhas (MSF) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS) com indicação dos ajustes de regressão para todos os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007)	45
Figura 26. Curvas da resposta da matéria seca dos caules (MSC) de pinhão manso às doses de nitrogênio (N) dentro dos níveis de água disponível no solo (L) , em que: $L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ (Campina Grande, PB, 2007)	46
Figura 27. Valores médios dos dados da matéria seca dos caules (MSC) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS) com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007)	47
Figura 28. Valores médios dos dados da matéria seca dos caules (MSC) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS) com indicação dos ajustes de regressão para todos os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007)	47
Figura 29. Curvas da resposta da matéria seca das raízes (MSR) de pinhão manso às doses de nitrogênio (N) dentro dos níveis de água disponível no solo (L), em que: $L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ (Campina Grande, PB, 2007)	49

Figura 30. Valores médios dos dados da matéria seca das raízes (MSR) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS) com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007) **50**

Figura 31. Valores médios dos dados da matéria seca das raízes (MSR) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS) com indicação dos ajustes de regressão para todos os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007) **50**

CRESCIMENTO INICIAL DO PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas L.*) EM FUNÇÃO DE NÍVEIS DE ÁGUA E ADUBAÇÃO NITROGENADA

RESUMO: Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o crescimento inicial do pinhão manso em função de níveis de água no solo e adubação nitrogenada. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação da Embrapa Algodão, Campina Grande, Paraíba, no período de 25 de março a 5 de setembro de 2007. Adotou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, no qual os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (4 x 4) com quatro repetições e uma planta por parcela (vaso), sendo os fatores quatro doses de nitrogênio ($N_1 = 0$ (testemunha), $N_2 = 60$, $N_3 = 120$ e $N_4 = 180$ kg ha^{-1}), aplicadas na forma de sulfato de amônio $(NH_4)SO_4$, e quatro níveis de água no solo ($L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ da água disponível), resultando em 64 parcelas. Os níveis de água disponível no solo nos tratamentos foram estabelecidos mediante o emprego da tensiometria. O crescimento das plantas foi acompanhado mensalmente pela medição de: altura, diâmetro caulinar e área foliar, a partir da emergência das plantas e, ao final do experimento, se determinaram as variáveis de desenvolvimento: matéria seca das folhas, matéria seca dos caules e matéria seca das raízes. Houve resposta positiva de todas as variáveis de crescimento às aplicações crescentes de doses de nitrogênio e de níveis de água disponível no solo. Destaca-se, ainda, que em todos os casos ocorreu interação significativa entre esses dois fatores, indicando haver um efeito conjugado sobre as variáveis de crescimento da planta do pinhão manso, isto é, o efeito de um depende do efeito do outro. As maiores estimativas para as variáveis de crescimento (altura da planta e área foliar) e para as variáveis de fitomassa, foram obtidas na maior dose de nitrogênio e no maior nível de água no solo estudados, correspondentes a 180 kg ha^{-1} de N e a nível de 100% de água disponível no solo. Houve exceção para a variável de crescimento diâmetro dos caules da planta do pinhão manso, que teve seu maior resultado na dose 154 kg. ha^{-1} de N e no nível de 100% de água disponível no solo.

Palavras-chave: biodiesel, pinhão manso, tensiometria, adubação, manejo de água

INITIAL GROWTH OF PHYSIC NUT (*Jatropha curcas L.*) IN FUNCTION OF THE WATER LEVELS AND NITROGENATED FERTILIZATION

Abstract: This work has as objective evaluating the physic nut initial growth in function of the water levels and nitrogenated fertilization. The experiment was conducted in a greenhouse of EMBRAPA ALGODÃO, Campina Grande in the period from March 25th to September 5th, 2007. The experimental design adapted was a randomized complete blocks, in which the treatments were distributed in factorial scheme (4x4) with four replicates and a plant per portion (vase), being these factors: four doses of nitrogen ($N_1=0$ (witness), $N_2=60$, $N_3=120$, and $N_4=180\text{kg ha}^{-1}$), applied in an ammonium sulfate form (NH_4SO_4), and four levels of water in the soil ($L_1=100$, $L_2=80$, $L_3=60$, and $L_4=40\%$ of the available water), resulting in 64 portions. The water levels available in the soil during the treatments were determined using the tensiometry. The plants growth was followed monthly by the measurement of: height, stem diameter and leaf area, beginning from the plants emergence, and at the end of the experiment were determined the development variables: dry mass of the leaves, dry mass of the stems and dry mass of the roots. There was a positive result for all the growth variables to the increasing applications of nitrogen doses and the water levels available in the soil. We can also highlight that, in all the cases there was a significant interaction between these two factors, indicating that there was a conjugated effect over the growth variables of physic nut plant, that is, one's effect depends on the other's effect. Most of the estimates to the growth variables (plant height and leaf area) and to the phytomass variables, were obtained in the highest dose of nitrogen and in the highest level of water studied, corresponding to 180kg ha^{-1} of N and to the level of 100% of water available in the soil. There was an exception to the growth variable in the stem's diameter in the physic nut plant, whose biggest result was to the dose of 154kg ha^{-1} of N and the level of 100% of water available in the soil.

Key words: biodiesel, physic nut, tensiometry, fertilization, water management

1.0. INTRODUÇÃO

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta da família das Euphorbiaceas e tem a vantagem de ser perene. Possivelmente nativo do Brasil, tem possibilidades de ser mais uma alternativa não só para a produção de óleo de boa qualidade, mas também para a produção sustentável de biodiesel em nosso país. No mundo todo é pouco o conhecimento relativo a esta planta, cujo gênero tem mais de 170 espécies, sendo a mais importante a *Jatropha curcas* L.. Somente nos últimos 30 anos, é que estudos agronômicos foram iniciados, embora se trate de uma planta ainda não domesticada (SATURNINO et al., 2005). De vez que surge como novidade e possível alternativa, desperta grande interesse, surgindo também muitas informações não confiáveis e até distorcidas sobre esta planta, tais como: produtividades elevadas (superiores a 12 t / hectare) e teor de óleo muito elevado, entre outras. Para Heller (2006) há referências de até 8,0 t / ha, porém na aridez se tem citações de produtividades entre 200 a 800 kg de sementes. Sabe-se, devido a uma grande incerteza de informações com relação ao pinhão manso, que há muito que fazer ainda em termos de pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica (P&D&I), além da necessidade de investimentos na área da pesquisa, no tocante a equipamento. Não se conhece quase nada sobre a bioquímica e a fisiologia desta planta, ressalta-se que alguns aspectos agronômicos devem ser melhor investigados, haja vista que ela tem elevada variabilidade natural e grande diversidade genética com polinização preferencialmente entomófila, podendo ter, possivelmente, elevada alogamia. Não existem cultivares definidas, e depois de se escolher e caracterizar materiais promissores, de definir os passos tecnológicos para a composição de pelo menos dois sistemas de produção para esta cultura (um para condições de sequeiro no semi-árido e outro para condições de irrigação) sente-se a necessidade urgente da definição. Trata-se de uma espécie caducifólia e, apesar de resistente à seca, pode ter a produtividade comprometida, em regiões com precipitações pluviais abaixo de 600 mm/ano, o que, freqüentemente, ocorre no semi-árido brasileiro (HENNING, 2005, citado por SATURNINO et al, 2005).

O nitrogênio é um macronutriente primário essencial às plantas em razão de participar da formação de proteínas, aminoácidos e de outros compostos importantes no metabolismo das plantas, sua deficiência bloqueia a síntese de citocinina, hormônio responsável pelo crescimento das plantas, causando redução no tamanho e, conseqüentemente, redução da produção econômica das sementes (MENGEL e

KIRKBY, 1982). O primeiro sintoma visual de deficiência nas plantas adultas é o amarelecimento nas folhas inferiores, que pode ou não iniciar-se pelas nervuras, mas, invariavelmente, alcança rapidamente toda a folha, que tomba sobre o caule, fecha-se sobre a face superficial e cai. Um forte gradiente de perda de cor das folhas inferiores

2.0. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Disponibilidade de água no solo (conceitos e relações com outras propriedades)

Do ponto de vista agrônômico, o solo pode ser caracterizado através de sua classe pedológica, de análises de perfis, físicas e de fertilidade e, em estudos e planejamento de irrigação, pode ser também classificado de acordo com sua aptidão para irrigação. O estado da água no solo pode ser descrito por duas maneiras: a primeira, em termos de quantidade presente e a segunda em termos de energia dessa água (potencial). Para as plantas é importante o estado de energia da água no solo, uma vez que, solos de diferentes classes texturais podem ter quantidades de água semelhantes, porém com distintos estados de energia. O movimento de água se dá por uma diferença de potencial, seja no solo ou do solo para a planta. Para as plantas absorverem água do solo, as células da epiderme de suas raízes devem estar em um potencial mais negativo do que a água que está no solo (CARLESSO, 1995).

Para o manejo da irrigação é oportuno que se conheçam algumas das propriedades físicas e físico-hídricas do solo, em que as principais são: a densidade global ou aparente, a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente, a curva característica de retenção de água e, sobretudo, a água disponível (REICHARDT, 1996).

2.1.1. Densidade global do solo

A massa específica (ou densidade global) de uma substância designada por (δ), é definida como a massa da fração sólida por unidade de volume da amostra de solo, não deformada (volume do cilindro amostrador). Atualmente, esta unidade é usada para caracterizar a massa de um sistema fluido. A densidade do solo, juntamente com a porosidade, dá uma idéia do seu grau de compactação. A densidade global do solo varia de valores menores que 1 g/cm^3 , em geral em solos turfosos, a valores de até $1,9 \text{ g/cm}^3$, para solos com elevado grau de compactação. Em Latossolos não compactados o valor da densidade global gira em torno de 1 a $1,3 \text{ g/cm}^3$ (REICHARDT, 1996).

2.1.2. Capacidade de campo

Conhece-se, com base nos estudos de potenciais de água no solo, que a capacidade de campo é conhecida como o limite superior de disponibilidade de água para a planta e representa a umidade atingida pelo solo no final do processo de redistribuição da água de um perfil de solo no campo que foi saturado com prevenção de evaporação de sua superfície (SAAD, A. M & LIBARD, 1992), já para Carlesso (1995) a capacidade de campo é tida como um limite superior de água no solo, equivalente ao equilíbrio entre a força gravitacional (percolação de água) e a força de retenção desta água pelo solo, é a quantidade de água restante no solo após o excesso ter sido drenado depois de uma chuva ou irrigação. Este conceito é bastante subjetivo vez que não considera a quantidade de água aplicada, tampouco as condições de umidade iniciais do perfil.

2.1.3. Ponto de murcha permanente

O ponto de murcha permanente é o limite inferior de disponibilidade de água para a planta, situação em que há certa quantidade de água nos poros do solo porém, devido à elevada força de retenção existente entre as partículas sólidas do solo e a água, ela não se disponibiliza para o movimento em direção ao sistema radicular da planta, entretanto a planta, com seus mecanismos de defesa, fecha as células responsáveis pela transpiração (estômatos), deixando nula a atividade fotossintética, resultando estresse hídrico na planta com conseqüente perda de rendimento (SAAD, A.M & LIBARD,1992).

2.1.4. Curva característica de retenção de água no solo

A curva característica de retenção de umidade ou curva de retenção de água, ou simplesmente curva característica, é uma propriedade ou característica físico-hídrica do solo que relaciona o conteúdo volumétrico de água e o potencial matricial do solo, muitas vezes, deve ser expresso como carga hidráulica (h) em unidades de coluna d'água (cm/m). Como o próprio nome indica, é típica para cada solo, variando de acordo com a classe textural do solo, o conteúdo de matéria orgânica, o grau de compactação, a classe de solo, a geometria dos poros e outras propriedades físicas do

solo. Comumente, a curva característica é determinada em laboratório e de preferência em amostras não deformadas mas, para fins de pesquisa, pode também ser determinada diretamente no campo, sendo um processo mais trabalhoso e demorado (REICHARDT, 1996).

2.1.5. Água disponível

Conforme Saad, A.M & Libard (1992), para quantificar o reservatório de água no solo é imprescindível se conhecer alguns conceitos que auxiliam no seu dimensionamento, um desses conceitos é o que se denomina água disponível. Água disponível representa a água existente no perfil de solo (em que se encontram as raízes) e que está retida com uma energia ou tensão tal, que possa ser vencida e absorvida pela planta, é, portanto, aquela água contida no solo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, em uma espessura de solo onde exista a maior parte das raízes da planta.

Silva & Kay (1997) e Tormena et al. (1999), incorporaram ao conceito de água disponível, outras propriedades físicas do solo que afetam diretamente o crescimento e desenvolvimento de plantas, tais como: afetam o suprimento adequado de oxigênio, temperatura, resistência mecânica à penetração e o próprio conteúdo de água no solo. Neste conceito, a água exerce papel fundamental no desenvolvimento das plantas, haja vista que, regula todos os outros fatores diretamente relacionados com o desenvolvimento das plantas.

Da mesma forma, Carlesso (1995), contestou a maneira tradicional de se avaliar a água disponível no solo, argumentando que o crescimento de plantas pode ser retardado antes que o ponto de murcha seja atingido, embora a extração de água pelas raízes possa continuar acima de $-1,5$ MPa, além disso, as plantas podem extrair água do solo, mesmo quando a umidade estiver acima da capacidade de campo. Segundo Ritchie (1981), a definição laboratorial da água disponível às plantas (com amostras deformadas ou indeformadas) está sujeita a sérios erros, indicando que os limites de disponibilidade de água às plantas devem ser feitos a campo, considerando-se as condições de solo e de cultivo.

Como o potencial matricial varia em diferentes solos e ao longo do perfil, deve ser determinado para cada situação a fim de se estudar as respostas das plantas ao potencial de água no solo, entretanto, o potencial de água no solo não representa,

isoladamente, as condições de déficit ou excesso de água na profundidade explorada pelo sistema radicular das plantas, indicando que as respostas fisiológicas das plantas sejam avaliadas em função da água potencialmente extraível pelas plantas. Para substituir o conceito anterior de água disponível, Ritchie (1981) propôs o emprego de água extraível, definindo-a como uma combinação particular entre solo e cultura, assim, a água extraível é determinada pela diferença no conteúdo volumétrico de água no perfil do solo após a ocorrência de drenagem, depois de um umedecimento completo (denominado limite superior) e o conteúdo de água no solo, depois que as plantas tenham extraído toda a água possível do perfil (denominado limite inferior).

A água extraída do solo pelo sistema radicular das plantas é transpirada pelas folhas em proporção à demanda evaporativa da atmosfera, desta forma, a dinâmica da água no contínuo solo-planta-atmosfera depende das condições meteorológicas, das propriedades da planta e do solo (RITCHIE, 1981).

As condições atmosféricas determinam a demanda evapotranspiratória, isto é, a quantidade de água que deve ser extraída do solo e transpirada pelas plantas, a fim de manter a turgidez das células, a profundidade do sistema radicular, densidade e crescimento em extensão, assim como o dossel vegetativo da cultura, determinam a habilidade das plantas em manter um equilíbrio morfofisiológico, mesmo em condições de deficiência hídrica, para suprir a demanda evaporativa da atmosfera (RITCHIE, 1981).

As propriedades hidráulicas do solo são responsáveis pelo fornecimento da água em resposta à demanda evaporativa imposta pela atmosfera, em diferentes situações de cultivo, pois o solo é um reservatório ativo que, dentro de certos limites, controla a taxa de perda de água, por evaporação ou transpiração vegetal. Por conseguinte, é razoável a assunção de que qualquer alteração nos fatores que afetam o movimento da água no contínuo solo-planta-atmosfera, irá afetar as relações hídricas do solo, enfim, o comportamento da água é um processo dinâmico e não intrínseco à sua matriz, a capacidade de armazenamento de água disponível às plantas é o resultado da interação solo-planta, em função das características físicas, químicas e biológicas do mesmo, portanto, a avaliação da água disponível deve ser feita a campo, considerando-se o tipo de substrato, a espécie vegetal e as condições de cultivo (RITCHIE, 1981).

2.2. O USO DO TENSIÔMETRO

2.2.1. Constituição do tensiômetro

Segundo Saad, A.M & Libard (1994), o tensiômetro é um instrumento constituído de um tubo plástico, de comprimento variável, em cuja extremidade inferior há uma cápsula de porcelana porosa que é fechado hermeticamente na extremidade superior com auxílio de uma tampa e uma rolha siliconada. Possui uma haste ou estaca de madeira dotada de uma base que suporta o recipiente (cubeta) com mercúrio. A comunicação direta entre o tensiômetro e a cubeta com mercúrio é feita por um conduto plástico (denominado espaguete) (Figura 1).

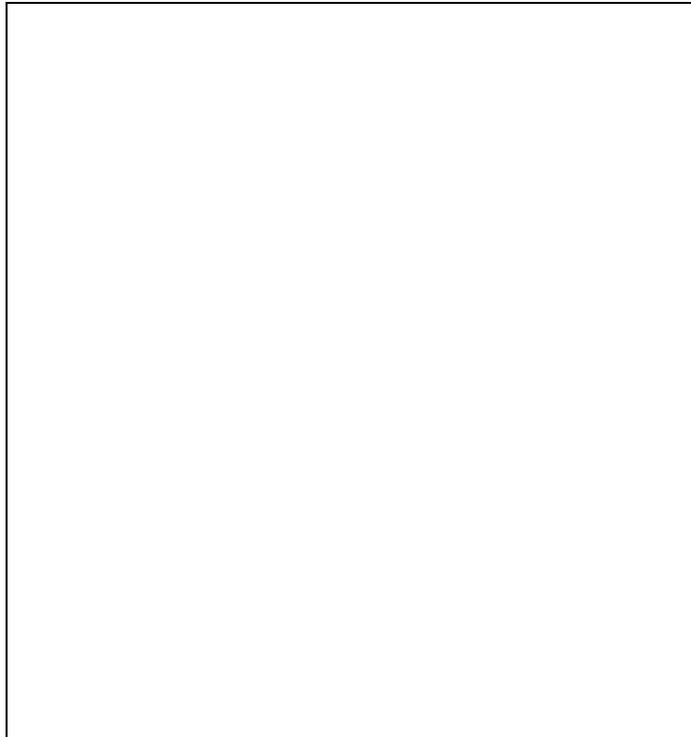


Figura 1. Tensiômetro de mercúrio.

2.2.2. Interpretação das leituras

Quando o tensiômetro é colocado no solo, se estabelece um equilíbrio entre a água do tensiômetro e a umidade do solo. A água do solo, que se encontra sob pressões sub atmosféricas, exerce uma sucção sobre o instrumento e dele retira certa quantidade de água, ocasionando queda da pressão hidrostática dentro do tensiômetro, que é indicada pela ascensão do mercúrio no espaguete, que se comunica com a cubeta. De

forma direta pode-se saber o potencial matricial do solo, conhecendo-se a altura da coluna de mercúrio (h_{Hg}) e a altura da coluna de água (h_{H_2O}) assim como as suas respectivas densidades(ρ), fazendo-se um simples cálculo através da seguinte equação:

$$\Psi_m = -\rho_{Hg} \cdot x h_{Hg} + \rho_{H_2O} \cdot x h_{H_2O}$$

Uma das maneiras de se conhecer o valor da umidade do solo através das leituras do tensiômetro é determinando-se a curva de retenção de água deste solo. Se conhecermos o teor de água no solo correspondente ao determinado valor do potencial matricial na curva, teremos condições de definir, além do momento da irrigação, a quantidade de água a ser aplicada. O uso dos tensiômetros é limitado a valores de tensão menores que 1 bar (GUERRA, 2000).

Saad, A.M & Libard (1994), afirmaram que o tensiômetro mede diretamente a tensão da água e, indiretamente, a porcentagem de água do solo. As leituras do tensiômetro indicam o estado de energia com que a água está retida nos poros do solo (formados pela agregação das partículas sólidas minerais e/ou orgânicas), com alta ou baixa energia (em solos secos a energia de retenção é alta e a água é pouco disponível para as plantas em solos úmidos ocorre o inverso).



Figura 2. Vista parcial dos Tensiômetros de mercúrio utilizados no experimento

2.2.3 - Vantagens e desvantagens do uso do tensiômetro

As principais vantagens do uso do tensiômetro para o controle da irrigação, são as seguintes (SAAD, A.M & LIBARD, 1994):

- Método direto, que determina a necessidade de água da cultura em função da disponibilidade de água no solo.
- Estima a disponibilidade de água no solo para as plantas para cada tipo de solo representativo.
- Define o momento e a quantidade de água a ser aplicada em cada irrigação em função da capacidade de aplicação de água.
- Permite o controle da qualidade das irrigações, método de simples operacionalização e automação e de baixo custo.

As principais limitações deste método são:

- Limitação de uso para solos muito argilosos, sem microagregação pois, monitora apenas parte da capacidade da água disponível.
- Faz medidas pontuais e fica na dependência da variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas dos solos.
- Sem automação requer leitura manual diária do instrumento.
- Necessita de cuidados especiais de instalação, operação e manutenção.
- Necessita de um programa de treinamento para os técnicos responsáveis pelo controle de irrigação na propriedade.

2.3. Os elementos nutritivos principais e suas inter-relações

2.3.1. O nitrogênio

De acordo com Potafos (1998), o nitrogênio é um dos elementos mais freqüentemente associados ao manejo inadequado e à poluição ambiental, pois, os fertilizantes nitrogenados são altamente solúveis e quando aplicados ao solo se não forem utilizados pelas culturas, serão convertidos em nitratos, ficando sujeitos à perda por erosão, lixiviação e desnitrificação.

Para Mengel (1965), o nitrogênio não é mineral, chega ao solo através do ar ou pela adubação. As chuvas tropicais podem acrescentar, ao solo, até 50 kg/ha de nitrogênio ao ano. As argilas tropicais absorvem amônia (NH₃), especialmente nos solos

de arroz irrigado, que podem fixar muito nitrogênio em presença de luz, através de algas. A matéria orgânica promove a fixação de nitrogênio, seja por meio biológico, por fotoquímico ou, também, por simples absorção do ar. O nitrogênio atmosférico é oxidado a NO_3 por bactérias e a fixação de nitrogênio por microrganismos simbióticos ou noduladores é importante não só nas leguminosas, mas também em não leguminosas, sendo no mínimo de 20 kg/ha por ano de N_2 .

Diferentes níveis de nitrogênio (N) nas plantas podem ser detectados por meio de sensores remotos. O nitrogênio influencia não apenas a taxa de expansão quanto a divisão celular determinando, assim, o tamanho final das folhas, o que faz com que o N seja um dos fatores determinantes da taxa de acúmulo de biomassa. Um acréscimo no suprimento de N estimula o crescimento, atrasa a senescência e muda a morfologia das plantas, além disso, o aumento nos níveis de adubação nitrogenada causa crescimento significativo no conteúdo de clorofila das folhas (FERNÁNDEZ et al., 1994). Ainda, de acordo com Fernández et al., (1994), a medida em que os níveis de N aplicados aumentaram na adubação, observa-se diminuição na reflectância, em todos os comprimentos de onda no visível, pelo acréscimo da quantidade de folhas e cloroplastos para interagir com a radiação solar.

2.3.2. A necessidade de nitrogênio

A necessidade de nitrogênio aumenta com a intensidade de iluminação, quanto mais distantes estiverem as plantas umas das outras tanto mais nitrogênio elas necessitarão. A sombra reduz a necessidade de nitrogênio em até 50% e esta sombra pode provir da densidade do "stand", isto é, do menor espaçamento. Porém, um espaçamento menor significa uma população vegetal maior e com isso a absorção de nitrogênio será idêntica ao espaçamento maior, pelo maior gasto do maior número de plantas. Não significa, portanto, menos adubo nitrogenado, mas sim um aumento menor da adubação nitrogenada em relação ao fósforo ou potássio, cálcio e magnésio. Como a quantidade de adubo está relacionada com a população vegetal, um excesso de nitrogênio ocorre facilmente em culturas com espaçamento menor, provocando o acamamento das plantas (PRIMAVESI, 1988).

O nitrogênio é o elemento a faltar primeiro em épocas de seca, sua absorção é prejudicada, necessitando de uma adubação maior para contrabalançar a deficiência.

A adubação nitrogenada de cobertura, comum em cereais, deve garantir a quantidade suficiente para a fase reprodutiva. Porém, seu efeito é negativo se nitrogênio tem faltado para a fase vegetativa. Neste caso, especialmente quando a adubação em cobertura for maciça, a colheita em grãos não aumenta. Muitas espigas ficam estéreis, por ter sido induzida uma deficiência aguda de potássio, e provavelmente também de cálcio. Muitas vezes a adubação parcelada não oferece efeito algum, e em solos grumosos com bioestrutura intacta geralmente é desnecessária (PRIMAVESI, 1988).

Chama-se a atenção para o fato de que qualquer deficiência mineral que impeça a formação de proteínas equivale a uma deficiência de nitrogênio para o vegetal, assim, por exemplo, a falta de cromo causa deficiência de nitrogênio em árvores noduladoras, que não são da família das leguminosas, como o *Alnus*. O mesmo ocorre na falta de enxofre, zinco, manganês, ferro, fósforo e outros, a eficiência de uma adubação nitrogenada somente será garantida quando não existir outra deficiência mineral no solo e quando sua metabolização completa estiver assegurada (PRIMAVESI, 1988).

2.3.3. O manejo do nitrogênio no solo

Mengel (1965) conta que a temperatura é um dos fatores mais importantes na absorção do nitrogênio, ao lado da água e do oxigênio, quanto maior a temperatura, tanto mais rápida a sua absorção, até que a água se torne o fator limitante.

Exige-se a proteção do solo contra temperaturas muito elevadas e contra a perda excessiva de água nas épocas mais secas. Aproximadamente cinquenta por cento do nitrogênio adubado não são aproveitados, haja vista que:

- a) escapa para o ar ou é lixiviado.
- b) a raiz não o alcança, devido aos adensamentos do solo.
- c) a seca impede a absorção.
- d) falta o fósforo e, em menor escala, outros nutrientes para sua metabolização.
- e) elevada concentração de alumínio no subsolo, constituindo barreira química ao crescimento radicular.

É notório que o valor de nitrogênio no solo e na planta não se correlaciona bem com o rendimento da cultura. Primavesi (1988) verificou que altos valores de N-total na folha raramente indicaram altas colheitas. Em análise detalhada das formas de nitrogênio (nitrito, nitrato e amoniacal) e na comparação de análises de seiva e do N-total do tecido, constatar-se que os níveis elevados de N freqüentemente coincidem com

níveis elevados de nitrogênio circulando na seiva, o que indica uma metabolização deficiente, geralmente, plantas com crescimento rápido acusam níveis médios a baixo de nitrogênio devido ao "efeito de diluição".

Altos níveis de nitrogênio no solo coincidem, comumente, com níveis elevados de nitrogênio na planta, fato previsto, porém não garantem altas colheitas. Plantas com crescimento rápido absorvem mais nitrogênio do solo, deixando-o mais pobre, portanto, na época da formação dos frutos de uma planta, o baixo nível de nitrogênio no solo tanto pode indicar um solo pobre como pode indicar uma absorção muito boa. Os níveis mais baixos de nitrogênio na planta podem indicar uma nutrição insuficiente, mas também, podem indicar um crescimento muito rápido e vigoroso da planta, sendo o resultado do efeito de diluição (PRIMAVESI, 1988).

2.3.4. O nitrogênio na planta

Embora possa absorver NH_4^+ como NO_3^- , devido à intensidade do processo de nitrificação, a última forma nítrica é a utilizada predominantemente pelas plantas superiores. Como nos compostos orgânicos o N se acha em forma reduzida, o NO_3^- - deve ser, antes da sua incorporação a aminoácidos e proteínas, transformado em NH_4^+ . A redução se dá através de uma série de transportadores intermediários de elétrons, que são nitrito (NO_2^-), hiponitrito; $(\text{HNO})_2$ hidroxilamina (NH_2OH). O oxigênio é o aceitador final: os enzimas responsáveis são flavoproteínas que requerem metais pesados para a sua atividade (Mo, Fe, Cu e Mn). Steinberg (1953) demonstrou que o ácido nitrohidroxilaminico ($\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_3$) é também um intermediário na redução assimilatória do nitrato.

Uma vez reduzido, o N amoniacal é incorporado a esqueletos carbônicos (alfa cetoácidos, por ex.) dando aminoácidos os quais, graças às reações de transmissão, se convertem uns nos outros de modo que novos aminoácidos podem resultar. A síntese de proteínas se dá em virtude da união de aminoácidos, formando longas cadeias que mostram a característica ligação de peptídeo (NH-CO) entre o grupo carboxilo de um e o grupo amino de outro (STEINBERG, 1953).

As proteínas vegetais se acham, como as animais, em um estado de equilíbrio dinâmico, desdobrando-se e sendo sintetizadas novamente à custa de material contido no reservatório metabólico do nitrogênio. As proteínas que constituem o material nitrogenado por excelência, são importantes pelo seu papel plástico, formativo dos

tecidos, pelas suas funções de reservas, e pelas funções enzimáticas que muitas proteínas desempenham (VICKERY et al., 1940).

2.4. A planta pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)

O pinhão pertence à família das Euforbiáceas, a mesma da mamona e da mandioca. Segundo Cortesão (1956), os portugueses distinguem duas variedades: catártica medicinal, a mais dispersa no mundo, com amêndoas muito amargas e purgativas e a variedade árvore de coral, medicinal-de-espanha, árvores de nozes purgativas, com folhas eriçadas de pêlos glandulares que segregam látex, límpido, amargo, viscoso e cáustico. É um arbusto grande, de crescimento rápido, cuja altura normal é dois a três metros, mas pode alcançar até cinco metros em condições especiais.

O diâmetro do tronco é de aproximadamente 20 cm, em plantas isoladas. Possui raízes curtas e pouco ramificadas, caule liso, de lenho mole e medula desenvolvida, mas pouco resistente e floema com longos canais que se estende até as raízes, nos quais circula o látex, suco leitoso que corre com abundância de qualquer ferimento. O tronco ou fuste é dividido desde a base, em compridos ramos, com numerosas cicatrizes produzidas pela queda das folhas na estação seca, as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas (CORTESÃO 1956; BRASIL, 1985). Ainda de acordo com esses autores, as folhas do pinhão são verdes, esparsas e brilhantes, largas e alternas, em forma de palma com três a cinco lóbulos e pecioladas, com nervuras esbranquiçadas e salientes na face inferior.

A floração é monóica, apresentando (na mesma planta, mas com sexo separado) flores masculinas em maior número nas extremidades das ramificações e femininas nas ramificações, as quais são amarelo-esverdeadas, que se diferencia pela ausência de pedúnculo articulado nas femininas, em geral, largamente pedunculadas. O fruto é capsular ovóide com diâmetro de 1,5 a 3,0 cm (Figura 3), é trilobular com uma semente em cada cavidade, formado por um pericarpo ou casca dura e lenhosa, indeiscente, inicialmente verde, passando a amarelo, castanho e, por fim, preto, quando atinge o estágio de maturação. Este fruto contém de 53 a 62% de sementes e de 38 a 47% de casca, pesando cada uma de 1,53 a 2,85g (CORTESÃO 1956; BRASIL, 1985).



Figura 3. Folhas e frutos de pinhão manso (*Jatropha curcas L.*)

Em relação à semente, é relativamente grande e quando secas medem de 1,5 a 2 cm de comprimento e 1,0 a 1,3 cm de largura. Têm tegumento rijo, quebradiço, de fratura resinosa. Debaxo do invólucro da semente existe uma película branca cobrindo a amêndoa. Apresentam albúmen abundante, branco, oleaginoso, contendo o embrião provido de dois largos cotilédones achatados (Figura 4).

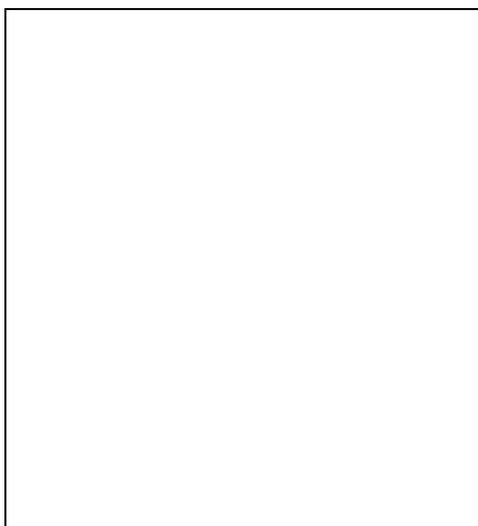


Figura 4. Sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas L.*)

A semente de pinhão, que pesa de 0,551 a 0,797 g, pode ter, dependendo da variedade e dos tratos culturais, de 33,7 a 45% de casca e de 55 a 66% de amêndoa. Segundo a literatura, nessas sementes são encontradas ainda, 7,2% de água, 37,5% de óleo e 55,3% de açúcar, amido, albuminóides e materiais minerais, sendo 4,8% de cinzas e 4,2% de nitrogênio (CORTESÃO 1956; BRASIL, 1985). As sementes de pinhão manso encerram de 25 a 40% de óleo inodoro e fácil de extrair por pressão. Este

óleo, com peso específico a $0,9094 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ e poder calorífico superior a $9,350 \text{ kcal/kg}$ (BRASIL, 1985), é incolor, muito fluido, porém se deixa precipitar ao frio e congela-se a alguns graus acima de zero. É solúvel na benzina e seus homólogos, insolúvel no álcool a $96 \text{ }^\circ\text{C}$ e solúvel em água. Destrói-se a toxidez, aquecido a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, em solução aquosa com apenas 15 minutos de calor (BRAGA, 1976).

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), apesar de ainda ser muito pouco estudado e não domesticado, está sendo considerado uma possível opção agrícola para a região nordeste, pois, com a possibilidade do uso do óleo do pinhão manso para a produção do biodiesel, abrem-se amplas perspectivas para o crescimento das áreas de plantio com esta cultura no semi-árido nordestino.

2.4.1. Utilizações da planta e viabilidade econômica

Conforme Brasil (1985), nos países importadores, basicamente Portugal e França, as sementes de pinhão manso sofrem o mesmo tratamento industrial que as bagas de mamona, isto é, cozimento prévio e esmagamento subsequente em prensas tipo “expeller”, para extração do óleo que, em seguida, é filtrado, centrifugado e clarificado, resultando daí um produto livre de impurezas. A torta, que contém ainda aproximadamente 8% de óleo, é reextraída com solventes orgânicos, em geral hexano, sendo o farelo residual ensacado para aproveitamento como fertilizante natural, em virtude dos teores elevados de nitrogênio, fósforo e potássio.

Até antes da segunda Guerra Mundial, em 1939, o principal uso do óleo de pinhão manso era na saboaria e na fabricação de estearina mas, devido às necessidades militares, outras possíveis utilizações começaram a ser estudadas. Ele não pode, contudo, ser utilizado como lubrificante, haja vista a sua baixa viscosidade e grande porcentagem de ácidos graxos impróprios, que podem provocar rápida resinificação. No entanto, pesquisas levaram a hipótese de que este óleo pode também ser utilizado como combustível nos motores Diesel, o qual se comporta bem sem qualquer tratamento prévio especial e com potência quase igual às conseguidas com o gasoil, contudo, o consumo é evidentemente maior, tendo em vista a diferença dos poderes caloríficos (CORTESÃO, 1956). Apesar de também ser utilizado na indústria de fiação de lã, de tinta para escrever, tinta de impressão e tintas para pintura, além de ser também utilizado como óleo de lustrar e, quando cozido, misturado a óxido de ferro, utilizado para envernizar móveis, seu maior emprego ainda é nas saboarias. Penido Filho e

Villano (1984) produziram biodiesel de pinhão manso e de várias outras oleaginosas para uso em motores produzidos pela FIAT, e obtiveram boas características no

2.4.2. Produção e produtividade

Recentemente, Severino et. al. (2007) disseram que em diversos países da América do Sul e Central, África e Ásia, há programas oficiais ou iniciativas particulares incentivando o plantio de pinhão manso, mas em nenhum deles esta cultura é tradicional nem existem lavouras estabelecidas (com pelo menos 5 anos) nas quais se possa confirmar sua produtividade e rentabilidade. Os plantios existentes no Brasil ainda não têm dimensão ou maturação suficiente para se avaliar em, adequadamente, a produtividade e custos de produção. As estimativas iniciais têm indicado que a renda bruta por hectare é muito baixa e não se encontraram relatos científicos confiáveis que informem a sua produtividade, há somente estimativas feitas com metodologia inadequada, como extrapolar a produção de uma planta isolada para produtividade em uma lavoura comercial. A maior parte dos trabalhos científicos sobre pinhão manso se refere a estudos de laboratório ou casa de vegetação sobre temas específicos, como fisiologia, toxicidade e suas partes, produção de mudas, tecnologia de sementes e transesterificação do óleo, etc.

Ainda para esses autores a cultura não possui um sistema de produção minimamente validado, para que se possa recomendar a forma de propagação (sementes, estacas e mudas), a população e plantio, adubação, como e quando podar, como e quando fazer a colheita etc.(SEVERINO et. al., 2007).

3.0. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento e clima

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (CNPA), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizado em Campina Grande-PB (figura 5).

O município de Campina Grande está localizado na Zona Centro Oriental da Paraíba, no Planalto da Borborema, cujas coordenadas geográficas são latitude sul 7° 13' 11", longitude oeste 35° 53' 31" e altitude 547,56m. O período chuvoso é de março a julho e o mais seco é de outubro a dezembro. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o município apresenta: precipitação total anual de 802,7 mm; temperatura máxima (27,5 °C) e mínima (19,2 °C) e umidade relativa do ar de 83% .



Figura 5. Casa de vegetação onde foi executado o experimento, no Centro Nacional de pesquisa do Algodão (CNPA - EMBRAPA ALGODÃO), Campina Grande, PB, 2007

3.2. Tratamentos e delineamento experimental

Adotou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições e uma planta por parcela (vaso). Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (4 x 4), sendo o primeiro fator as doses de nitrogênio ($N_1 = 0$ (testemunha), $N_2 = 60$, $N_3 = 120$ e $N_4 = 180$ kg.ha⁻¹), aplicado na forma de sulfato de amônio (NH₄)SO₄ e o segundo fator pelos níveis de irrigação ($L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ da água disponível). Na Tabela 1, são representados os 16 tratamentos

resultantes das combinações possíveis entre os fatores dose de nitrogênio e níveis de água disponível.

Tabela 1. Resultado das combinações dos fatores doses de nitrogênio e níveis de água.

Doses de nitrogênio e níveis de água			
T1 = N₁L₁	T5 = N₂L₁	T9 = N₃L₁	T13 = N₄L₁
T2 = N₁L₂	T6 = N₂L₂	T10 = N₃L₂	T14 = N₄L₂
T3 = N₁L₃	T7 = N₂L₃	T11 = N₃L₃	T15 = N₄L₃
T4 = N₁L₄	T8 = N₂L₄	T12 = N₃L₄	T16 = N₄L₄

3.3. Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado em de 25 de março e conduzido até 5 de setembro de 2007. Cada parcela experimental correspondeu a um vaso plástico com capacidade de 60 l, e diâmetro inferior de 27 cm, superior de 41 cm e altura de 57 cm (Figura 6A), todos os vasos foram perfurados e a eles foi adicionada brita, para permitir a facilitação da drenagem, evitando o acúmulo de água e possível anoxia das raízes (Figura 6B).

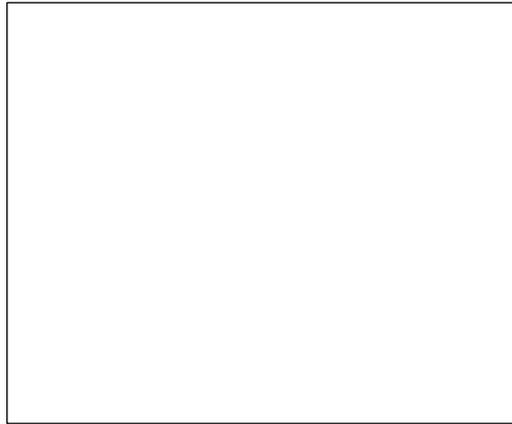


Figura 6B. Elocação de britas nos vasos

Em cada vaso, se colocou areia peneirada sem adição de matéria orgânica (Figura 6C), a fim de que os efeitos da adubação de cobertura (um dos fatores do experimento) na forma de sulfato de amônio (NH_4SO_4) não fossem mascarados. Ainda se instalou em cada vaso, um tensiômetro de mercúrio para se monitorar o conteúdo de água disponível no solo.

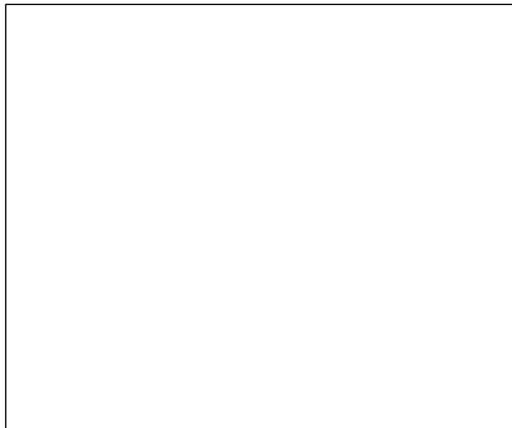


Figura 6C. Vaso com areia peneirada e sem adição de matéria orgânica

Antes da instalação os tensiômetros foram previamente preparados, sendo postos em baldes com água destilada (durante dois dias), para que a cápsula porosa ficasse submersa, garantindo o nível de água nos mesmos. A instalação dos tensiômetros ocorreu em uma profundidade de 15 cm da superfície do solo, medida a partir do meio da cápsula porosa. O material do solo foi previamente saturado com água de abastecimento comum, com o auxílio de uma mangueira, até que a água fosse escoada por baixo dos vasos, garantindo a comprovação da boa drenagem e a obtenção da capacidade de campo do solo. Para a perfuração do local onde ficariam os tensiômetros

dentro dos baldes, se utilizou um trado de metal, evitando-se a quebra da cápsula porosa ao introduzir os mesmos no solo saturado. Instalaram-se, juntamente com os tensiômetros, estacas de madeira com 1,40 cm de altura, com uma base para o recipiente com mercúrio (Figura 6D) onde, depois da introdução ficariam a 10 cm da superfície do solo, garantindo maior homogeneidade da altura dessas bases (Figura 6E).

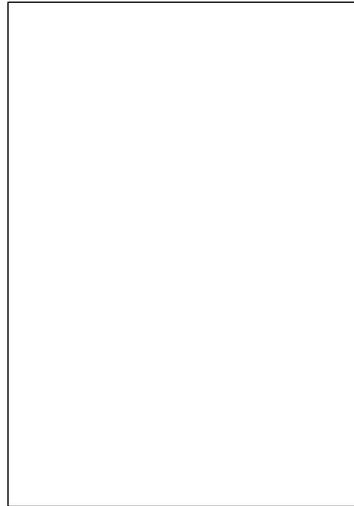


Figura 6D. Tensiômetro de mercúrio

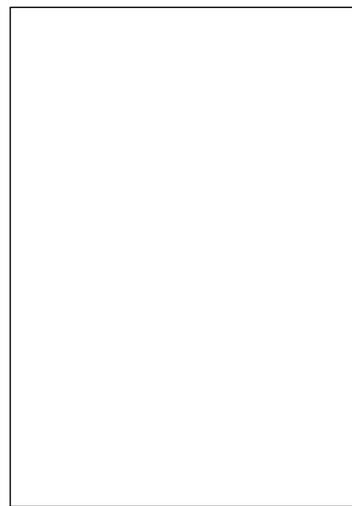


Figura 6E. Base dos recipientes com mercúrio

3.3.1. Características do solo e adubação

O substrato utilizado no experimento proveio do município de Lagoa Seca, PB, obtido pela Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária S/A (EMEPA), a uma profundidade de 0-40 cm. O material do solo foi submetido a análises físico-hídricas e químicas (conforme a metodologia recomendada pela Embrapa, 1997), realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em abril de 2007, cujos resultados destas, estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4. Segundo a classificação textural observada na Tabela 2 constatou-se que se tratava de um solo Franco Arenoso. Estas análises foram feitas antes da instalação do experimento para a realização das adubações (de fundação e cobertura), bem como a obtenção dos dados, com vista à determinação da curva característica do solo (Figura 7).

3.3.1.A. Características Físico-hídricas do solo

Tabela 2. Características físico-hídricas do solo

Granulometria			Densidade (g/cm ³)		Classificação textural	P (%)	U.N (%)	AD (%)
Areia	Silte	Argila	Aparente	Real	Franco Arenoso	33,62	0,91	5,75
74,88	7,00	18,12	1,75	2,64				

Em que: P = Porosidade; U. N = Umidade natural; AD = Água Disponível. Análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS/DEAg/UFCG)

Observa-se na Tabela 2 que a densidade aparente foi de 1,75 g/cm³ e da real foi de 2,64 g/cm³ e, segundo Kiehl (1979), possui valores normais. Para a porosidade do solo, encontramos o valor de 33,62 % que para Brady (1989), está abaixo da faixa adequada, que é de 35 a 50%.

Tabela 3. Dados da curva característica do solo

Pressões (atm)	0,10	0,33	1,00	5,00	10,0	15,0
θ (%)	6,73	4,62	2,91	1,67	1,10	0,98

Onde: θ é o teor de umidade do solo; a pressão a 0,10 atm representa a capacidade de campo (cc) e a pressão a 15,0 atm representa o ponto de murcha. Análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade(LIS/DEAg/UFCG)

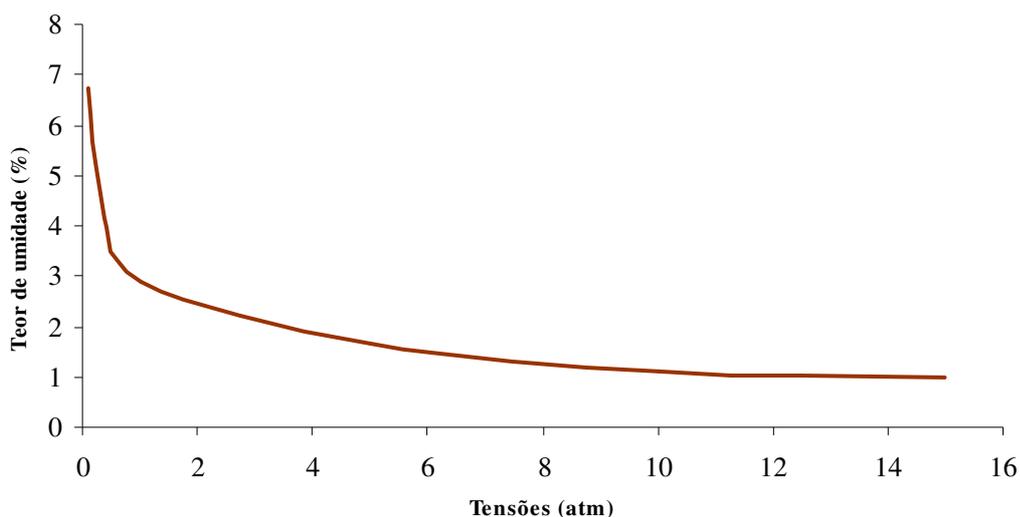


Figura 7. Curva característica do solo do experimento

3.3.1.B. Características Químicas do solo

Tabela 4. Características químicas (fertilidade) do solo antes da instalação do experimento.

Características Químicas	Valores
Cálcio (meq x 100g ⁻¹ de solo)	1,16
Magnésio (meq x 100g ⁻¹ de solo)	3,73
Sódio (meq x 100g ⁻¹ de solo)	0,06
Potássio (meq x 100g ⁻¹ de solo)	0,10
Carbono Orgânico (%)	1,05
Matéria Orgânica (%)	1,81
Nitrogênio (%)	0,10
Fósforo Assimilável (mg x 100g ⁻¹)	0,46
pH H ₂ O (1:2, 5)	5,64
Cond. Elétrica (mmhos x cm ⁻¹) (Suspensão Solo-Água)	0,11

Análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS/DEAg/UFCG)

Tem-se na tabela 4, que o pH encontrado foi de 5,64 e está dentro da normalidade, conforme Embrapa (1999). Segundo Malavolta (1967) as maioria das plantas crescem naturalmente numa faixa de 4,0 a 8,0 (exceto algumas culturas, que tem preferência por pH mais ácidos ou alcalinos). O percentual de matéria orgânica foi de 1,81 % indicando, segundo Tomé Júnior (1997), que o solo apresenta baixa capacidade de troca catiônica e alta possibilidade de lixiviação de bases de cálcio, magnésio e potássio, aumentando os riscos de efeitos danosos com adubos salinos.

3.3.1.C. Adubação

A adubação química, realizada em duas etapas, foi feita com base no resultado da análise química do solo:

- **Primeira fase** (Adubação de fundação): Em que se utilizaram duas fontes, ou seja, superfosfato triplo (na concentração de 44% P₂O₅) e Cloreto de potássio (KCl) (concentração de 60% K₂O), uma vez que, não se tinha incorporado previamente ao solo, matéria orgânica para não mascarar os efeitos do nitrogênio sobre a planta pinhão manso. A quantidade de adubo calculada (baseada no total

estipulado de 80 kg.ha⁻¹ e na área do vaso, 0,13196 m²) foi de 2,4g por vaso de superfosfato triplo e 1,76g por vaso de KCl.

- **Segunda** (Adubação de cobertura): Aqui se utilizou apenas uma fonte, isto é, doses de nitrogênio como sulfato de amônio (NH₄)SO₄ (concentração de 21% N), utilizadas como fatores: 0 (testemunha), 60, 120 e 180 kg. ha⁻¹. As quantidades de adubo calculadas por vaso, foram: 0; 3,8; 7,6 e 11,4g (de acordo com os fatores, respectivamente), depois de calculadas, as doses de (NH₄)SO₄ foram fracionadas em três para que cada fração fosse colocada em meses consecutivos e se evitasse a volatilização do adubo.

3.3.2 Tratos culturais

3.3.2.1. Semeadura e desbaste

Realizou-se a semeadura em 5 de abril de 2007 e se utilizaram sementes pré-selecionadas (pelo peso de 0,06 g) de pinhão manso, semeadas na profundidade de 2 cm e de forma vertical (conforme recomendações da Embrapa, 1994) diretamente nos vasos, na quantidade de 5 sementes por vaso. O início da germinação ocorreu 7 dias após a semeadura (12 de abril de 2007), seu índice de germinação foi satisfatório, cerca de 89% (Figura 8).



Figura 8. Germinação da semente de pinhão manso (*Jatropha curcas L.*)

O desbaste das plântulas foi realizado 15 dias após a germinação das sementes (27 de abril), retirando-se as plântulas consideradas menos vigorosas e se deixando apenas 1 planta por vaso (melhor plântula).

3.3.2.2. Irrigação

Fez-se a irrigação ao primeiro mês de vida das plantas com o auxílio de um regador, visto que ainda se encontravam pequenas e fragilizadas.

Após o primeiro mês, com base nas análises físico-hídricas do solo, foi desenvolvida uma planilha do excel (Figura 9) pelo professor Antônio Ricardo Santos de Andrade (Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE) na qual, se colocavam os valores da altura da coluna de mercúrio (medidos com uma régua, do nível do mercúrio no recipiente de vidro até a altura final da coluna de mercúrio no espaguete do tensiômetro) correspondente a cada tratamento (Figura 10) que, conseqüentemente, calculava a quantidade de água a ser posta.

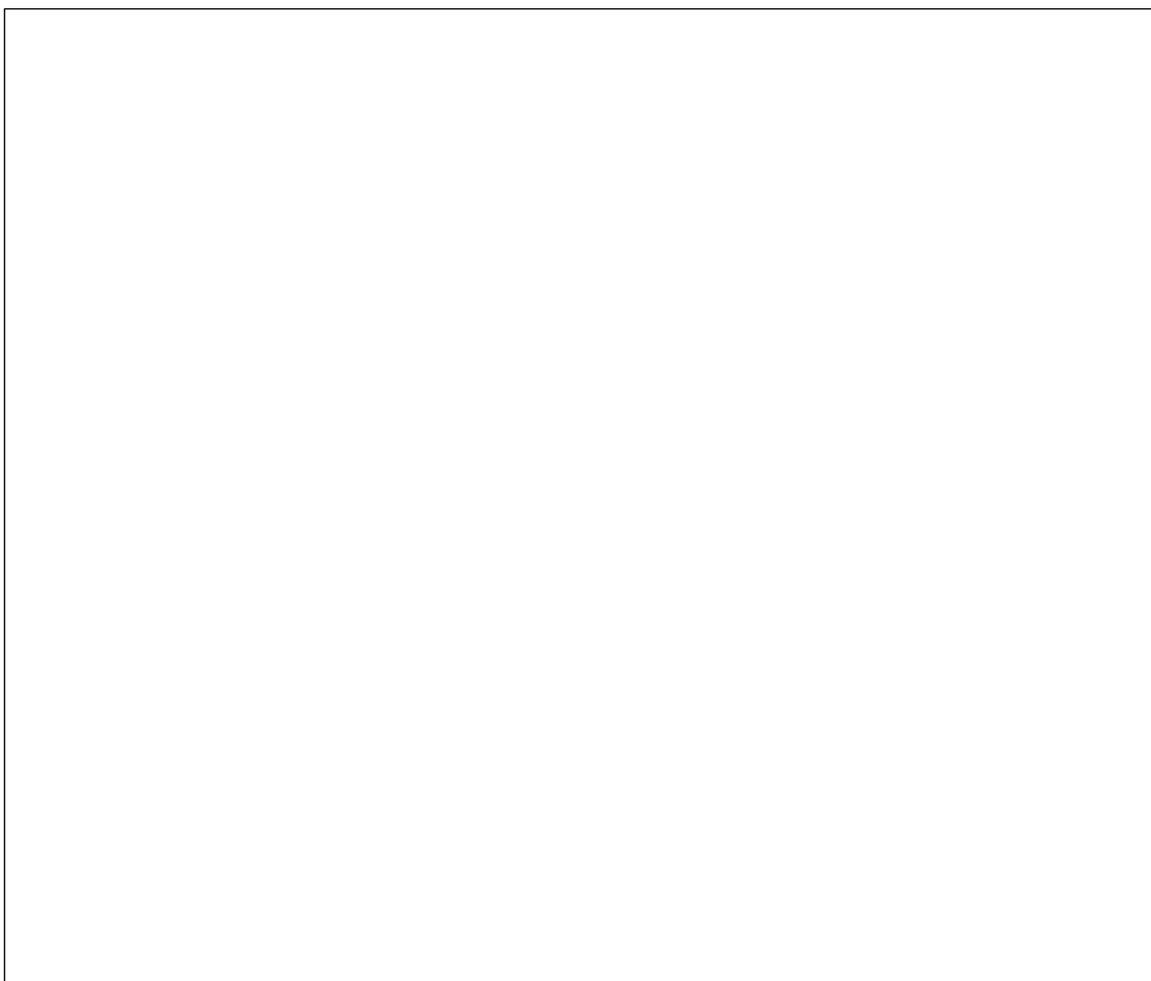


Figura 9. Planilha utilizada para o cálculo da quantidade de água

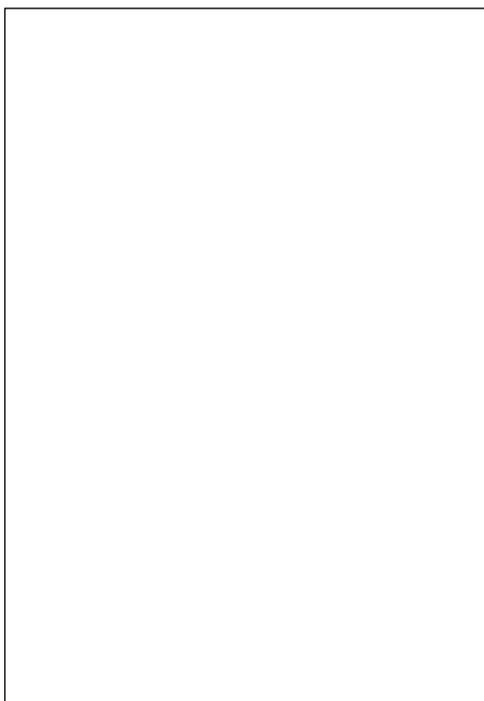


Figura 10. Medição da altura da coluna de mercúrio

Os cálculos que compunham a planinha foram baseados nas seguintes equações:

$$\Psi_m = -13,6h + h_1 + h_2 \quad (1)$$

Em que: Ψ_m é o potencial matricial (cm.c.a); h a altura de equilíbrio da coluna de mercúrio a partir de seu nível (cm) e 13,6 é a densidade do mercúrio em g.cm^{-3} ; h_1 a altura do nível do mercúrio no frasco a partir da superfície do solo e h_2 profundidade de instalação dos tensiômetros (cm). O momento de irrigar foi definido quando os tensiômetros indicavam potencial matricial da água no solo de 93,4; 237,92; 364,30 e 572,20 cm.c.a, que correspondiam a valores de h da altura da coluna de mercúrio de 4; 6,5; 8,5 e 10,0 cm, respectivamente, sendo esses valores estabelecidos a partir dos níveis de água disponível no solo de $L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$. A capacidade máxima de água disponível no solo foi calculada por:

$$AD = \frac{\theta_{CC} - \theta_{PMP}}{100} x Z \quad (2)$$

Em que: AD é a capacidade máxima de água disponível no solo (mm), θ_{cc} a umidade do solo na capacidade de campo em % base solo seco, θ_{PMP} umidade do solo no ponto de murcha permanente em % base solo seco e Z é a profundidade efetiva das raízes (cm).

A curva característica de umidade do solo foi descrita pela equação de Van Genuchten:

$$\theta = \theta_R + \frac{\theta_S - \theta_R}{\left[1 + (\alpha |\Psi_m|^n)\right]^m} xZ \quad (3)$$

Em que: θ é a umidade do solo; θ_S é a umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_R é a umidade residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Ψ_m é o potencial matricial (cm.c.a); α , m e n são parâmetros de ajuste da equação e Z a profundidade do sistema radicular.

3.3.2.3. Controle de pragas e ervas daninhas

A eliminação das plantas daninhas que, por ventura, apareceram, foi manual. O experimento foi severamente atacado por ácaros branco (*Polyphagotarsonemus latus*) e vermelho (*Tetranychus ludeni*,) e, para o controle destas pragas, foram realizadas 5 pulverizações com VERTIMEC 18 CE (Concentrado para emulsão (EC) 18 g.l^{-1} ou 1,9% (p/p) de Abamectina) durante 5 semanas (uma pulverização por semana) na proporção de diluição de 160 μL do acaricida para 200ml de água, com auxílio de um pulverizador costal, munido de bico cone D2-13, trabalhando a uma pressão de 40 lb. Pol^{-2} .

3.3.2.4. Avaliação das variáveis de crescimento e fitomassa

O crescimento das plantas foi acompanhado mensalmente pela medição de: altura, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar (a partir da emergência das plantas) com paquímetro e régua milimétrica. A altura da planta (cm) foi medida com o auxílio de uma régua, desde o colo da planta até a inserção da última folha e, com um

paquímetro o diâmetro do caule (mm) foi medido a 2 cm do colo da planta, o número de folhas por planta foi contado manualmente.

Aos 150 dias após a emergência, as plantas foram arrancadas e separadas as raízes da parte aérea. Todo o material (raiz, caule e folhas) foi acondicionado em sacos de papel e, em seguida, colocado em estufa a uma temperatura de 50 °C durante 4 dias para a sua secagem. Passado o período de secagem, o material foi retirado da estufa e colocado em sacos plásticos (para evitar ganho de umidade) para o transporte até o local onde foi feita a pesagem em balança de precisão medindo-se assim, a matéria seca.

Estimou-se a área foliar pela fórmula que considera apenas a largura da nervura principal, descrita por Severino, et al. (2006).

$$A = 1,00 \times L \times 1,87 \quad (4)$$

Em que: A é a Área Foliar e L é a Largura da nervura principal.

3.4. Análise estatística

A análise estatística das variáveis estabelecidas foi processada pelo software SISVAR 4.3 (2003), com nível de significância de 1 e 5% de probabilidade visando obter com esta análise:

1. Análise de regressão para determinação do modelo matemático de forma a expressar as respostas das variáveis quantitativas dos fatores nas plantas;
2. Análise de variância para as variáveis de crescimento (altura da planta, diâmetro do caule e área foliar) e fitomassa (das folhas, dos caules e das raízes).

4.0. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Volume de água aplicado

O somatório dos volumes totais de água aplicados, através de planilha, nos quatro blocos, com início da irrigação aos 30 dias após a semeadura (DAS) para cada tratamento até o final do experimento (150 DAS), bem como o total global aplicado por todos os tratamentos, tiveram acentuada variação e encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5. Volume total de água aplicado por tratamento nos quatro blocos, total global aplicado por todos os tratamentos e número de irrigações feitas em cada tratamento nos quatro blocos

Tratamentos	Volume total de água aplicado(l)
T1=N1L1	213,06
T2=N1L2	163,27
T3=N1L3	100,90
T4=N1L4	85,24
T5=N2L1	307,40
T6=N2L2	224,03
T7=N2L3	208,87
T8=N2L4	159,54
T9=N3L1	301,68
T10=N3L2	264,85
T11=N3L3	184,81
T12=N3L4	162,35
T13=N4L1	341,18
T14=N4L2	245,21
T15=N4L3	213,63
T16=N4L4	87,74
TOTAL GLOBAL	3263,76

Em que: N são doses de nitrogênio ($N_1 = 0$ (testemunha), $N_2 = 60$, $N_3 = 120$ e $N_4 = 180$ Kg. Ha^{-1}), aplicado na forma de sulfato de amônio (NH_4SO_4). L são os níveis de irrigação ($L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ da água disponível), Campina Grande, PB, 2007

Os resultados do somatório do volume total de água aplicado no experimento para os dezesseis tratamentos, podem ser melhor observados na Figura 11.

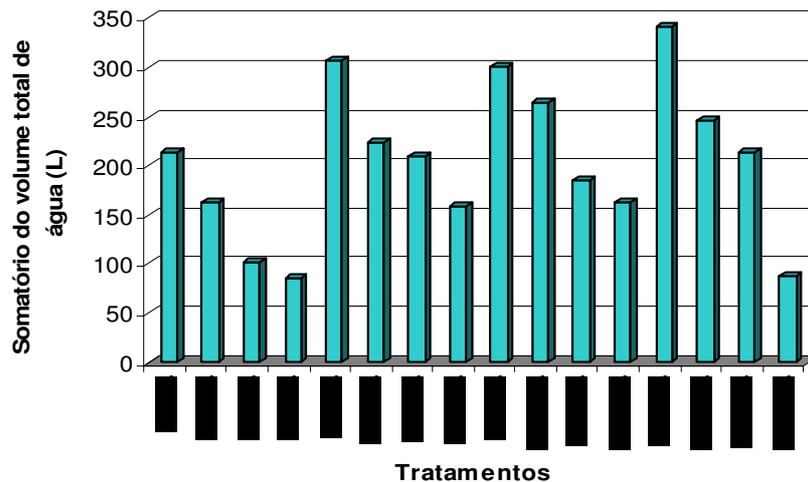


Figura 11. Somatório do volume total de água aplicado por tratamento durante o experimento, em que: N são doses de nitrogênio ($N_1 = 0$ (testemunha), $N_2 = 60$, $N_3 = 120$ e $N_4 = 180 \text{ Kg.ha}^{-1}$), aplicadas na forma de sulfato de amônio (NH_4SO_4) e L são os níveis de irrigação ($L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ da água disponível), Campina Grande, PB, 2007)

Verifica-se que os maiores volumes de água foram aplicados quando a planta do pinhão manso foi submetida aos tratamentos T13 = N4L1 e T5 = N2L1 (onde L1 representa o maior nível de água disponível no solo, 100%). Observa-se também na Figura 11 que os menores valores de volume de água aplicado ocorreram quando o pinhão manso foi submetido aos tratamentos T4 = N1L4 e T16 = N4L4 (onde L4 representa o menor nível de água disponível no solo, 40%) respectivamente.

4.2. Crescimento do pinhão manso em função do tempo

Nas Figuras 12 e 13 são apresentados o comportamento dos valores médios das variáveis de crescimento: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e área foliar da planta (AFP), em função dos dias após a semeadura (DAS) quando submetidos às diferentes dosagens de nitrogênio (N) e níveis de água disponível no solo (L), respectivamente.

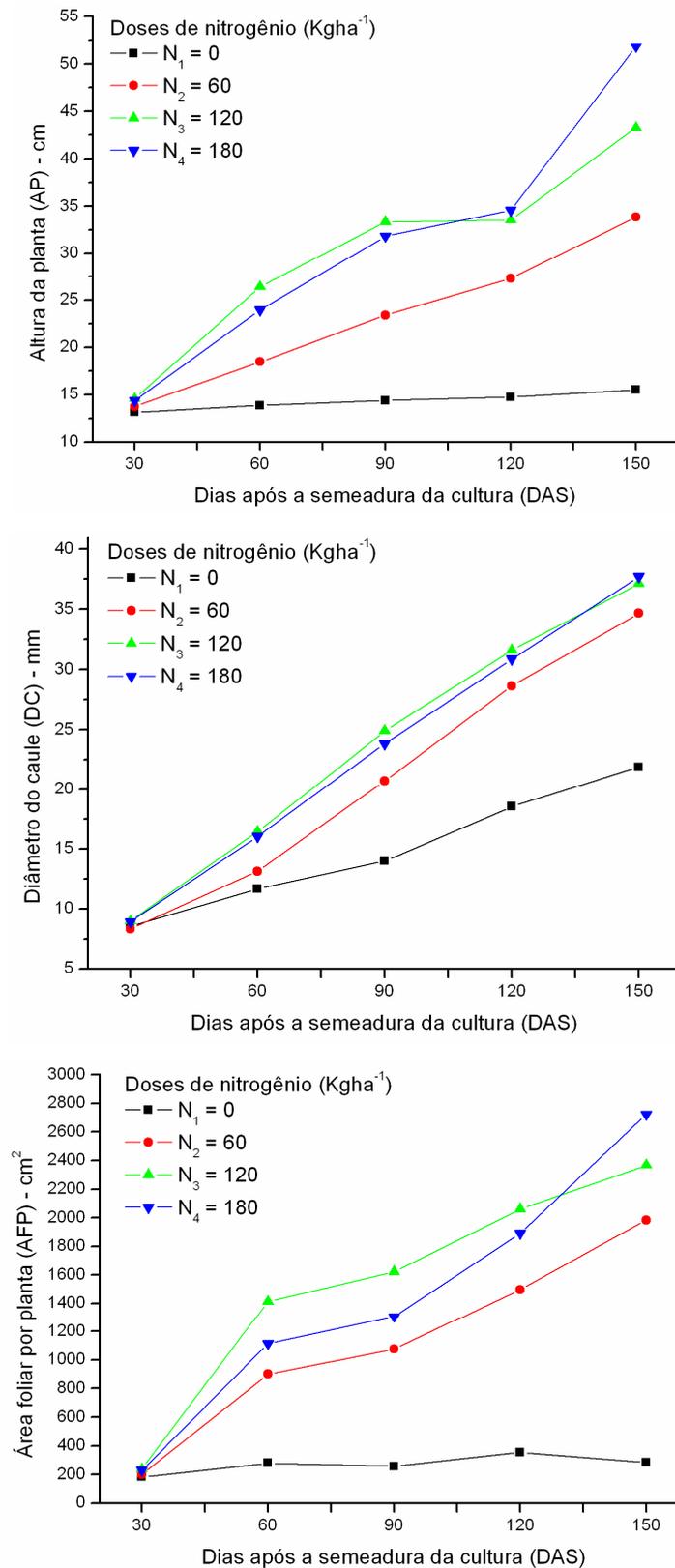


Figura 12. Altura média da planta (AP), diâmetro médio do caule (DC) e área foliar por planta (AFP) do pinhão manso em função DAS, quando submetidos à quatro dosagens de nitrogênio: $N_1 = 0$, $N_2 = 60$, $N_3 = 120$ e $N_4 = 180$ Kg/ha^{-1} (Campina Grande, PB, 2007)

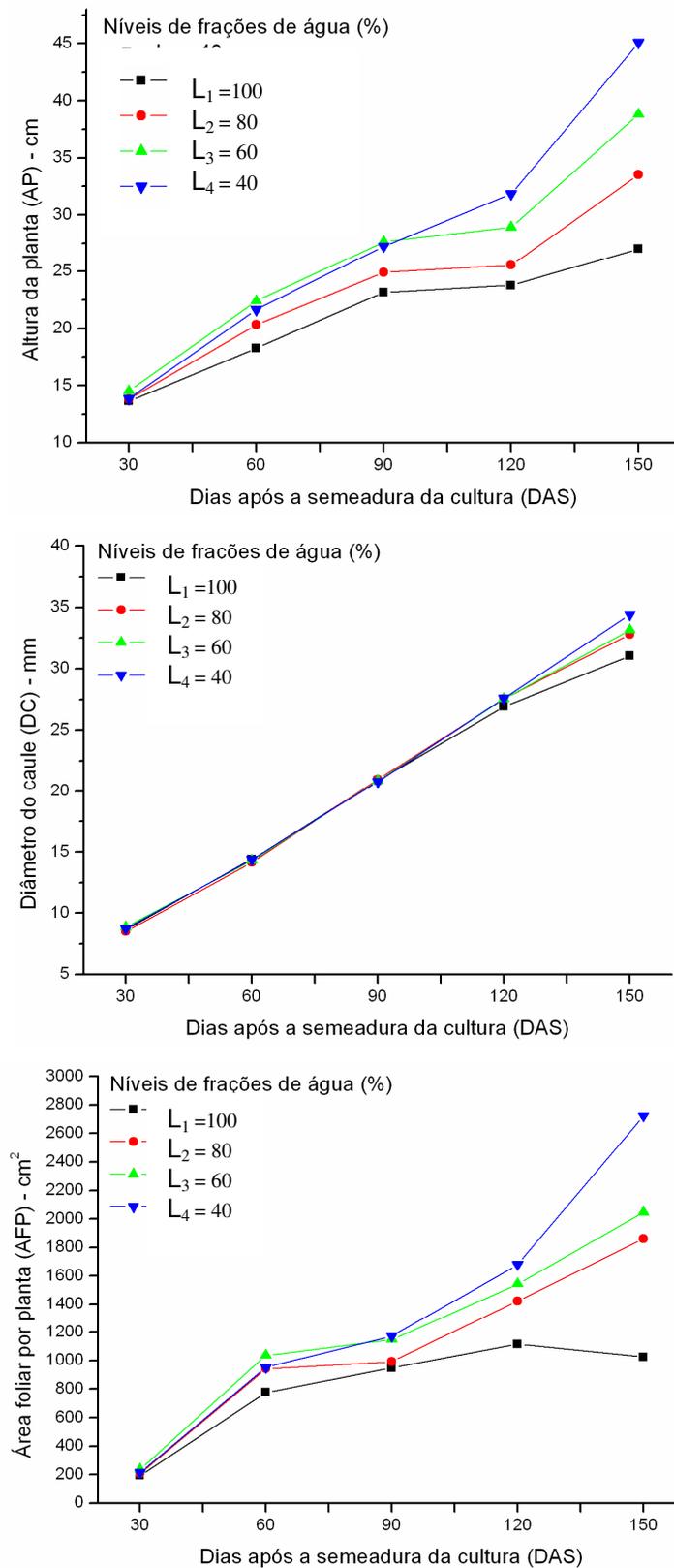


Figura 13. Altura média da planta (AP), diâmetro médio do caule (DC) e área foliar por planta (AFP) do pinhão manso em função DAS, quando submetidos à quatro níveis de água disponível no solo: L₁ = 100, L₂ = 80, L₃ = 60 e L₄ = 40% (Campina Grande, PB, 2007)

Verifica-se na Figura 12 que o menor crescimento das plantas desde o início até o final do período (DAS) ocorreu quando submetido às doses de nitrogênio N_1 (Testemunha) e N_2 (60 kg. ha^{-1}). Da Figura 13, observar-se que os menores valores médios da altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e área foliar da planta (AFP) desde o início até o final do período (DAS) ocorreram quando submetidos no nível de água disponível L_4 (40%), indicando que o pinhão manso também é exigente a água e que pode não crescer bem a condições de déficit hídrico da magnitude estudada, e com restrições de um ambiente controlado. Pode-se notar na Figura 13 que as plantas do pinhão manso quando submetidas aos quatro níveis de água disponível no solo apresentaram os valores do diâmetro médios iguais nos períodos 30, 60, 90 e 120 DAS, com pequena variação no final do experimento (150 DAS).

Em geral conclui-se, nas Figuras 12 e 13, que independente das diferentes doses de nitrogênio (N) e níveis de água disponível no solo (L) onde a cultura foi submetida, o crescimento do pinhão manso representado pela altura da planta, diâmetro do caule e área foliar por planta aumentou com o tempo numa taxa relativamente constante, para o período analisado (150 dias após a semeadura - DAS).

4.3.Variáveis de crescimento

Na Tabela 6, pode-se observar os resumos das análises de variância para os resultados ao final dos 150(DAS) do experimento com a regressão para as variáveis de crescimento altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e área foliar por planta (AFP). Verifica-se pelo teste F que houve diferenças significativas para as fontes de variação nitrogênio (N), níveis de água disponível no solo (L) e interação N x L para as três variáveis de crescimento do pinhão manso analisadas.

Tabela 6. Resumos das análises de variância do experimento para estudo de regressão dos dados das variáveis de crescimento: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e área foliar por planta (AFP), do pinhão manso submetido aos diferentes tratamentos ao final de 150 DAS (Campina Grande, 2007)

Fonte de variação	GL	Quadrado médio (QM)		
		AP (cm)	DC (mm)	AFP (cm ²)
Bloco	3	848,88 **	12,57 ns	3.828.384,24**
Doses de nitrogênio (N)	3	3887,38**	884,30**	1865007,54**
Equação linear	1	11.227,87 **	1.997,50 **	47.465.839.83 **
Equação quadrática	1	382,69 ns	597,19 **	7.229.631.99 **
Desvio de regressão	1	51,60 ns	58,22 **	1.316.791.65 ns
Níveis de água (L)	3	944,45**	30,48**	5610398,25**
Equação linear	1	2.829,22 **	86,63 **	15.421.183.41 **
Equação quadrática	1	0,19 ns	0,87 ns	837.966,31 ns
Desvio de regressão	1	3,93 ns	3,93 ns	572045.01 ns
Interação N x L	9	500,75 **	30,28 **	2.008.703,35 *
Resíduo	45	193,35	7,38	1.125.200,65
Total corrigido	63			

GL – grau de liberdade; ns - não significativo,* - significativo a nível de 5% de probabilidade no teste F;** - significativo a nível de 1% de probabilidade no teste F.

4.3.1. Altura da planta (AP)

De acordo com os resultados da Tabela 6 houve resposta linear para esta variável de crescimento, tanto em função das doses de nitrogênio (N) quanto a níveis de água disponível no solo (L). Em ambas as situações os desvios de regressão não foram significativos, indicando um bom ajuste dos modelos de regressão.

Deu-se interação N x L significativa a nível de 1% de probabilidade, indicando que o padrão de resposta da altura da planta (AP) à aplicação de nitrogênio (N) varia com o nível de água disponível no solo (Figura 14).

$$Z = 21,018125 + 0,024911 X - 0,062547 Y - 0,000679 X^2 + 0,004211 XY - 0,000137Y^2$$

Figura 14. Curvas de resposta de altura da planta (AP) de pinhão manso às doses de nitrogênio (N) dentro dos níveis de água disponível no solo (L), em que: $L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ aos 150 (DAS) (Campina Grande, PB, 2007)

Ao comparar as diferentes doses de nitrogênio (N) dentro de cada nível de água disponível no solo (L), conclui-se com a Figura 14 que a altura máxima conseguida, segundo a equação de regressão polinomial, foi de 71,68 cm com a dose máxima de nitrogênio ($180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e ao nível máximo de água disponível no solo (100%). Bezerra et al. (1992) utilizando as doses de 0, 50, 100 e $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio e quatro níveis de água no solo (25, 50 e 75% da água disponível do solo consumida pelas plantas de algodão herbáceo e irrigação com base nos sintomas de murcha) não encontraram interação entre o nitrogênio e o manejo de irrigação, nem efeito do nitrogênio sobre a altura de plantas.

Aos 150 dias após a semeadura, a altura do pinhão manso teve ajuste de regressão linear tanto para as doses de nitrogênio quanto para os níveis de água disponível (L), sendo assim representados pelas Figuras 15 e 16, respectivamente.

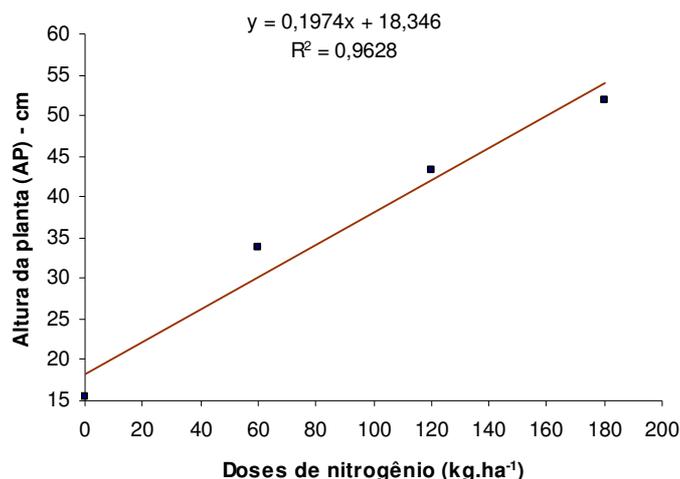


Figura 15. Valores médios dos dados de altura da planta (AP) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007)

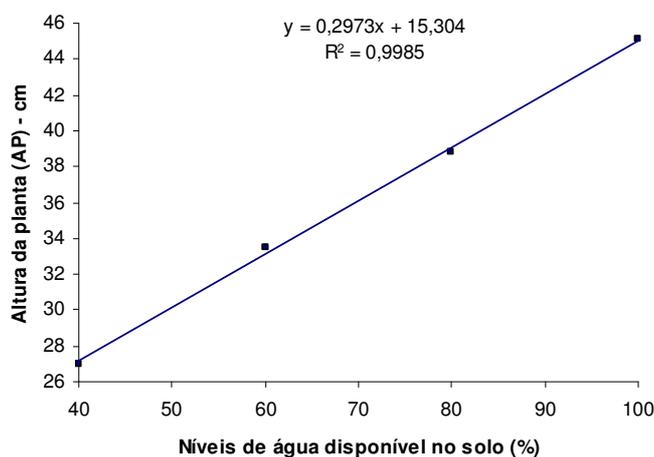


Figura 16. Valores médios dos dados de altura da planta (AP) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todos os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007)

Constata-se na Figura 15 que o incremento de 1 kg.ha⁻¹ de nitrogênio proporcionou uma resposta de 0,1974 cm na altura da planta, indicando que para este estudo quanto maior for a dose de N maior será a altura das plantas de pinhão manso. O valor de R^2 indica que o modelo explica 96,28% de variação total observada nos dados. Demonstra-se com a Figura 16, que o incremento de 1% do nível de água disponível no solo proporcionou uma resposta de 0,2973 cm na altura da planta, indicando que para este estudo quanto maior for o nível (L) maior será a altura das plantas de pinhão manso. O valor de R^2 indica que o modelo explica 99,85% de variação total observada nos dados.

4.3.2. Diâmetro do caule (DC)

Observando-se os resultados da Tabela 6, verifica-se que houve resposta quadrática para esta variável de crescimento apenas para o incremento das doses de nitrogênio (N) e linear para os níveis de água disponível no solo. Apenas para as doses de nitrogênio (N) os desvios foram significativos no nível de 1% de probabilidade, indicando que não existe regressão maior que de 2^o grau. Os níveis de água disponível tiveram o desvio não significativo (ns), indicando um ajuste satisfatório do modelo de regressão aos dados.

Houve interação N x L em nível de 1% de probabilidade, indicando que o padrão de resposta do diâmetro do caule (DC) com relação à aplicação de nitrogênio (N) varia com relação ao nível de água disponível no solo aplicado (Figura 17).

$$Z = 21,905 + 0,185630 X - 0,028266 Y - 0,000849 X^2 + 0,000720XY - 0,000293Y^2$$

Figura 17. Curvas da resposta do diâmetro do caule (DC) de pinhão manso às doses de nitrogênio (N) dentro dos níveis de água disponível no solo (L), em que: L₁ = 100, L₂ = 80, L₃ = 60 e L₄ = 40% aos 150 (DAS) (Campina Grande, PB, 2007)

Conclui-se com a Figura 17, que os melhores resultados para o diâmetro do caule (DC) da planta pinhão manso ocorreram na interação N(154 kg.ha⁻¹) x L1(100%). Segundo a equação de regressão polinomial, o diâmetro máximo obtido pela interação dos fatores foi de 35,69 mm, indicando que doses de N maiores que 154 kg.ha⁻¹ são desnecessárias.

Aos 150 dias após a semeadura, o diâmetro do pinhão manso teve ajuste de regressão quadrático para as doses de nitrogênio e linear para os níveis de água disponível (L), sendo assim representados pelas Figuras 18 e 19, respectivamente.

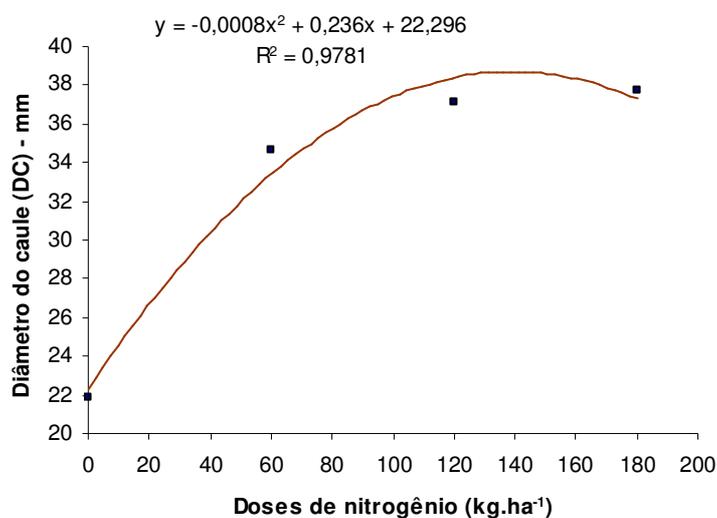


Figura 18. Valores médios dos dados do diâmetro do caule (DC) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007)

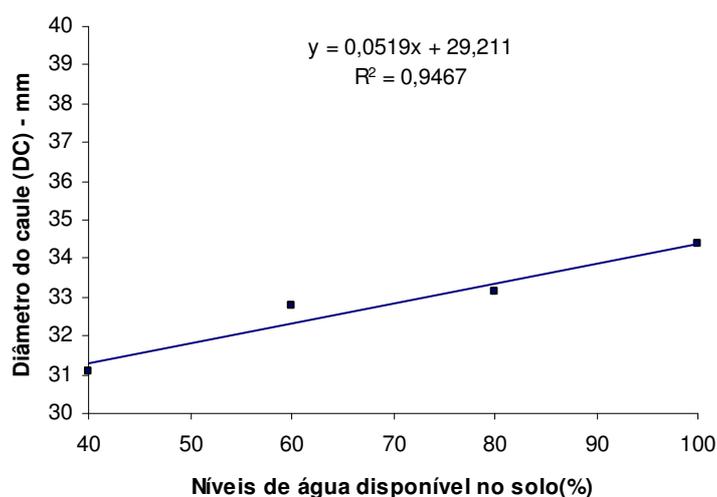


Figura 19. Valores médios dos dados do diâmetro do caule (DC) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todos os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007)

Na Figura 18, houve aumento do diâmetro do caule (DC) em função das doses de nitrogênio(N) até $147,5 \text{ kg.ha}^{-1}$, proporcionando ao caule um diâmetro de 39,81 mm. A partir desta dose, de acordo com o modelo de regressão ajustado, o aumento das doses de N causa uma redução no diâmetro do caule do pinhão manso.

Constata-se com a curva da Figura 19 que o incremento de 1% do nível de água disponível no solo proporcionou uma resposta de 0,0519 mm no diâmetro do caule, indicando que para este estudo quanto maior for o nível de água maior será o diâmetro do caule de pinhão manso. O valor de R^2 indica que o modelo explica 94,67% de variação total observada nos dados.

4.3.3. Área foliar (AFP)

Destacando os resultados da Tabela 6, concorda-se que houve resposta quadrática para esta variável de crescimento para o incremento das doses de nitrogênio (N) e linear para os níveis de água disponível no solo. Em ambas as situações os desvios de regressão não foram significativos, indicando um bom ajuste dos dados aos modelos de regressão.

Deu-se interação N x L significativa a nível de 5% de probabilidade entre os fatores, indicando que o padrão de resposta da área foliar da planta (AFP) com relação à aplicação de nitrogênio (N) varia com relação ao nível de água disponível aplicado (Figura 20).

$$Z = -765,192363 + 10,952863 X + 37,971421 Y - 0,093361 X^2 + 0,267 XY - 0,286064 Y^2$$

Figura 20. Curvas da resposta da área foliar (AFP) de pinhão manso às doses de nitrogênio (N) dentro dos níveis de água disponível no solo (L), em que: L₁ = 100, L₂ = 80, L₃ = 60 e L₄ = 40% aos 150 (DAS) (Campina Grande, PB, 2007)

Ao se comparar as diferentes doses de nitrogênio (N) dentro de cada nível de água disponível no solo (L), conclui-se com a Figura 20 que a área foliar máxima

conseguida, conforme a equação de regressão polinomial foi de 3923,93 cm² com a dose máxima de nitrogênio (180 kg.ha⁻¹) e ao nível máximo de água disponível no solo (100%).

Aos 150 dias após a semeadura, a área foliar da planta pinhão manso teve ajuste de regressão quadrático para as doses de nitrogênio e linear para os níveis de água disponível no solo (L), sendo assim representados pelas Figuras 21 e 22, respectivamente.

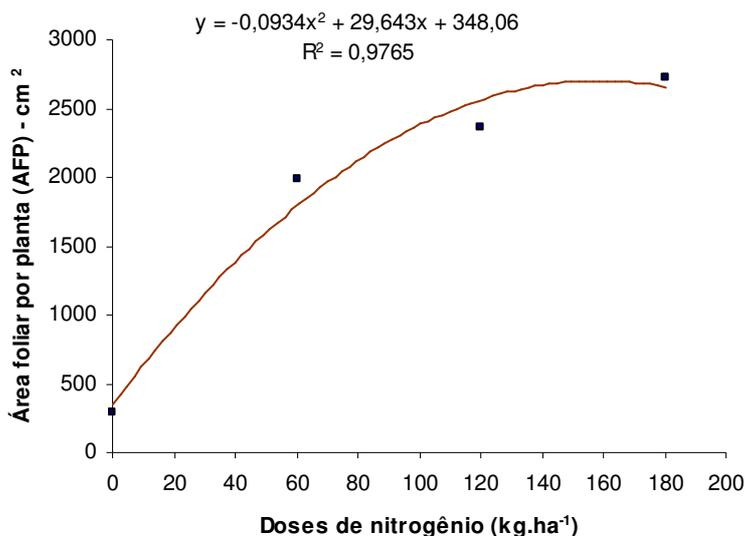


Figura 21. Valores médios dos dados da área foliar da planta (AFP) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007)

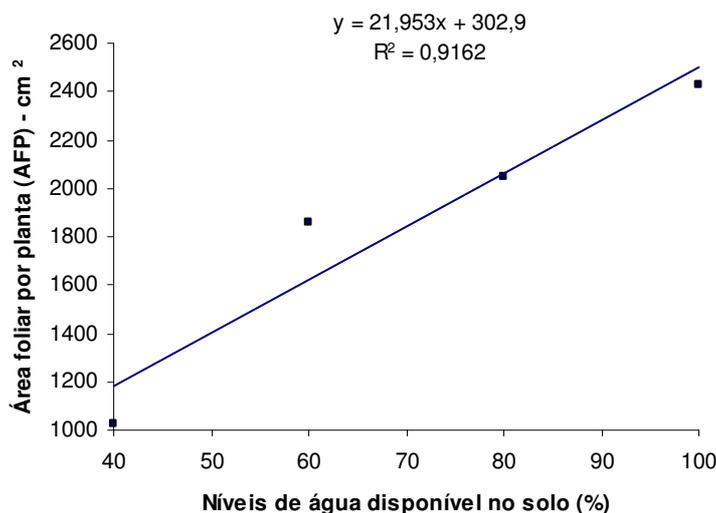


Figura 22. Valores médios dos dados da área foliar da planta (AFP) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todos os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007)

Verifica-se na Figura 21 que houve aumento da área foliar (AFP) em função das doses de nitrogênio até 158,69 kg.ha⁻¹, proporcionando ao pinhão manso uma área foliar de 2700,06 cm². Após esta dose, houve um decréscimo área foliar, significando que um incremento maior de N não contribuiria com o crescimento desta variável.

Na Figura 22, demonstra-se que o aumento de 1% dos níveis de água disponível o solo proporcionou um incremento de 21,953 cm² na área foliar da planta, indicando que para este estudo quanto maior for o nível(L) maior será a área foliar das plantas de pinhão manso. O valor de R² indica que o modelo explica 91,62% de variação total observada nos dados.

Para Radin et al. (1985) e Halevy & Kramer (1986) as variáveis de crescimento de algodão são determinadas pela interação nitrogênio versus água. Quanto maior o nível em que qualquer um desses fatores é mantido, maior também será o incremento de das variáveis para um nível do outro fator, que se aproxima de valor constante. Para Ali et al. (1974) as maiores respostas do algodoeiro irrigado foram obtidas com os maiores níveis de adubação nitrogenada. Souza et. al. (1999), com o objetivo de se avaliar o efeito dos níveis de água disponível no solo (AD), 75, 50 e 25%, e de nitrogênio, 0, 40, 80, 120 e 160 kg. ha⁻¹ de N, sobre algumas características do algodoeiro herbáceo, cv. CNPA-7H, verificaram que houve efeito linear significativo (p £ 0,01) positivo do N sobre a área foliar. O nível de 25% da AD causou efeito depressivo (p £ 0,01) sobre o diâmetro de caule, altura de plantas e área foliar.

Albuquerque et.al. (2006), objetivando verificar o crescimento vegetativo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) submetida a diferentes fontes (torta de mamona e sulfato de amônio) e doses de nitrogênio (30,60, 120, 240 e 480 kg. ha⁻¹ de N), observaram que as doses de nitrogênio de 291,2 e de 465,9 kg/ha apresentaram os melhores resultados para altura (45,1 cm) e o diâmetro caulinar (22,1 mm), aos 57 e 52 dias da emergência, respectivamente.

4.4. Variáveis de fitomassa

Na Tabela 7 se verificam os resumos das análises de variância do experimento para a regressão das variáveis matéria seca das folhas (MSF), matéria seca dos caules (MSC) e matéria seca das raízes (MSR), do pinhão manso submetido a diferentes tratamentos ao final de 150 dias após a semeadura (DAS). De acordo com os resultados da ANOVA utilizando-se o teste F pode-se notar que houve diferenças significativas a

nível de 1% de probabilidade para os fatores doses de nitrogênio (N) e níveis de água disponível no solo (L), em relação as variáveis MSF, MSC e MSR. Nota-se que houve efeito significativo em nível de 5% de probabilidade para as interações doses de nitrogênio e níveis de água disponível no solo (N x L) em relação a variável matéria seca das folhas (MSF) e de 1% em relação as outras variáveis de crescimento (MSC e MSR).

Tabela 7. Resumos das análises de variância do experimento para estudo de regressão dos dados das variáveis matéria seca das folhas (MSF), matéria seca dos caules (MSC) e matéria seca das raízes (MSR), do pinhão manso submetido aos diferentes tratamentos ao final de 150 DAS (Campina Grande, 2007)

Fonte de variação	GL	Quadrado médio (SQM)		
		MSF(g)	MSC(g)	MSR(g)
Bloco	3	133,87*	1324,09**	930,74**
Doses de nitrogênio (N)	3	916,52 **	8.143,49 **	4.133,42 **
Equação linear	1	2434,87**	22762,69**	11130,94**
Equação quadrática	1	287,72**	1500,59*	1032,81*
Desvio de regressão	1	26,97ns	167,18ns	236,50ns
Níveis de água (L)	3	202,77 **	1.570,05 **	853,22 **
Equação linear	1	532,25**	4603,33**	2482,54**
Equação quadrática	1	75,47ns	0,0014ns	73,74ns
Desvio de regressão	1	0,603ns	106,83ns	3,38ns
Interação N x L	9	81,84*	900,69**	713,95**
Resíduo	45	38,03	329,83	202,08
Total corrigido	63			

GL – grau de liberdade; ns - não significativo,* - significativo a nível de 5% de probabilidade no teste F;** - significativo a nível de 1% de probabilidade no teste F.

4.4.1. Matéria seca das folhas (MSF)

Diante dos resultados da Tabela 7, verifica-se que houve resposta quadrática para esta variável de fitomassa em função das doses de nitrogênio (N) e linear para os níveis de água disponível no solo. Em ambas as situações os desvios de regressão não foram significativos, indicando um bom ajuste dos dados aos modelos de regressão.

Houve interação N x L significativa a nível de 5% de probabilidade, indicando que o padrão de resposta da matéria seca das folhas (MSF) com relação à aplicação de nitrogênio(N) varia com relação à lâmina de água aplicada (Figura 23).

$$Z = -9,05662 + 0,098228 X + 0,380816 Y - 0,000589 X^2 + 0,001425 XY - 0,002715Y^2$$

Figura 23. Curvas da resposta da matéria seca de folhas (MSF) de pinhão manso às doses de nitrogênio (N) dentro dos níveis de água disponível no solo (L), em que: L₁ = 100, L₂ = 80, L₃ = 60 e L₄ = 40% aos 150 (DAS) (Campina Grande, PB, 2007)

Verifica-se com a Figura 23 que os melhores resultados para a matéria seca das folhas (MSF) da planta pinhão manso ocorreram na interação N(180 kg.ha⁻¹) x L1(100%). De acordo com a equação de regressão polinomial, o melhor valor obtido foi de 26,12 g de matéria seca de folhas.

Aos 150 dias após a semeadura, a matéria seca das folhas do pinhão manso teve ajuste de regressão quadrático para as doses de nitrogênio e linear para os níveis de água disponível (L), sendo assim representados pelas Figuras 24 e 25, respectivamente.

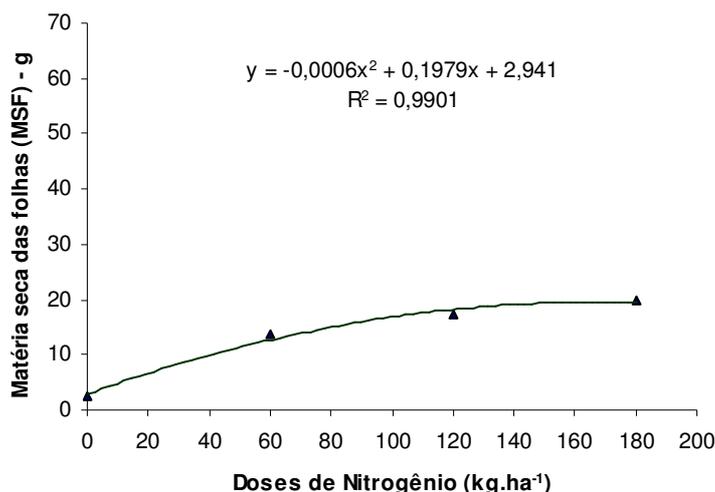


Figura 24. Valores médios dos dados da matéria seca das folhas (MSF) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007)

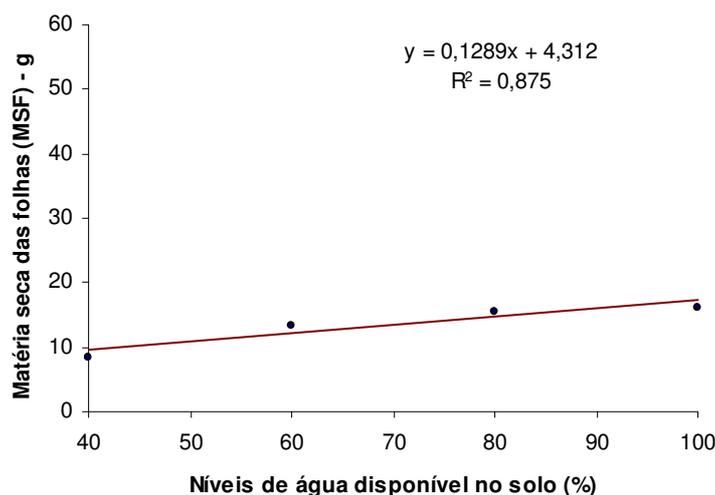


Figura 25. Valores médios dos dados da matéria seca das folhas (MSF) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todos os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007)

Na Figura 24 confirma-se com a curva que a matéria seca das folhas (MSF) com relação a doses de nitrogênio cresceu até 164,92 kg.ha⁻¹ proporcionando 19,26g de MSF. Após esta dose, de acordo como modelo de regressão ajustado o aumento das doses de N causa redução, desta variável de fitomassa.

Observa-se na Figura 25 que o aumento de 1% dos níveis de água proporcionou um incremento de 0,1289 g na matéria seca das folhas, indicando que para este estudo quanto maior for o nível(L) maior será a matéria seca das folhas de pinhão manso. O valor de R² indica que o modelo explica 87,5% de variação total observada nos dados.

(MSC) do pinhão manso ocorreram na interação $N(180 \text{ kg.ha}^{-1}) \times L1(100\%)$, proporcionando 87,12 g de matéria seca dos caules.

Aos 150 dias após a semeadura, a matéria seca dos caules do pinhão manso teve ajuste de regressão quadrático para as doses de nitrogênio e linear para os níveis de água disponível (L), sendo assim representados pelas Figuras 27 e 28, respectivamente.

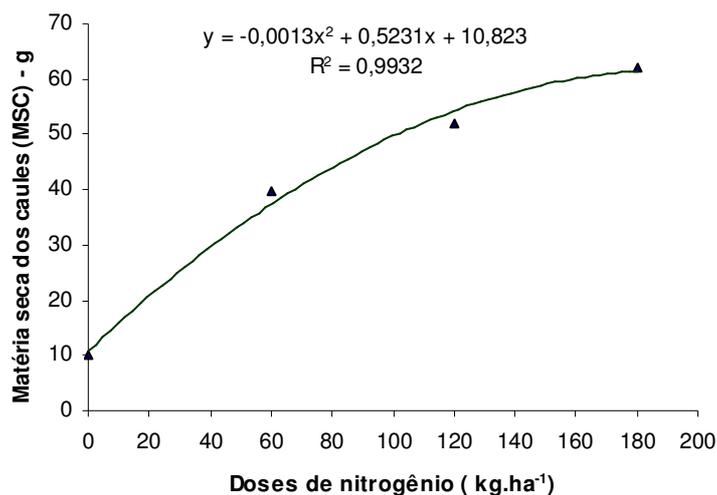


Figura 27. Valores médios dos dados da matéria seca dos caules (MSC) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007)

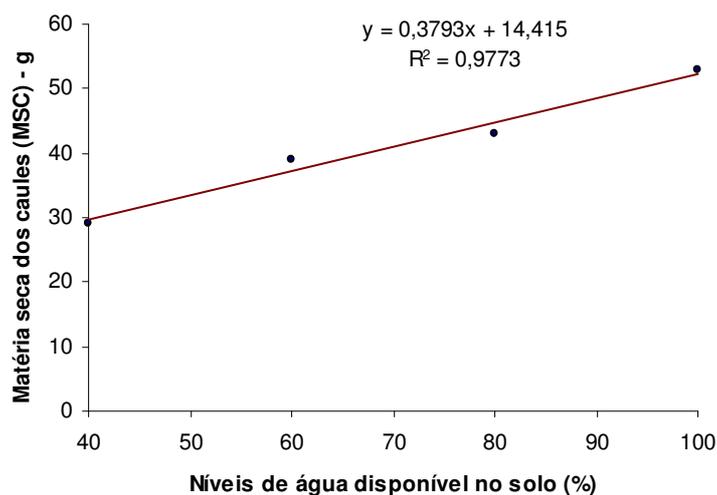


Figura 28. Valores médios dos dados da matéria seca dos caules (MSC) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todos os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007)

Corrobora-se com a curva da Figura 27 que o aumento das doses de N ocorreu de forma crescente até 201,19 kg.ha⁻¹, proporcionando 63,44 g de matéria seca dos caules (MSC) e após esta dose, houve um decréscimo da MSC, significando que um incremento maior de N não contribuiria com o crescimento desta variável.

Prova-se com a Figura 28 que o aumento dos níveis de água proporcionou um incremento de 0,3793g na matéria seca dos caules, indicando que para este estudo quanto maior for o nível(L) maior será a matéria seca dos caules de pinhão manso. O valor de R² indica que o modelo explica 97,73% de variação total observada nos dados.

4.4.3. Matéria seca das raízes (MSR)

Admitindo-se os resultados da Tabela 7, aponta-se que houve resposta quadrática para esta variável de fitomassa em função das doses de nitrogênio (N) e linear para os níveis de água disponível no solo. Em ambas as situações os desvios de regressão não foram significativos, indicando um bom ajuste dos dados aos modelos de regressão.

Houve interação N x L a nível de 1% de probabilidade, mostrando que o padrão de resposta da matéria seca das raízes (MSR) com relação à aplicação de nitrogênio(N) varia com relação ao nível de água disponível aplicado (Figura 29).

$$Z = 4,13 + 0,082380 X + 0,249141 Y - 0,001116X^2 + 0,004501 XY - 0,002684Y^2$$

Figura 29. Curvas da resposta da matéria seca das raízes (MSR) de pinhão manso às doses de nitrogênio (N) dentro dos níveis de água disponível no solo (L), em que: $L_1 = 100$, $L_2 = 80$, $L_3 = 60$ e $L_4 = 40\%$ aos 150 (DAS) (Campina Grande, PB, 2007)

Verifica-se com a Figura 29 que o valor máximo da matéria seca das raízes do pinhão manso, calculadas segundo a equação de regressão polinomial e interação dos fatores $N(180 \text{ kg.ha}^{-1}) \times L_1(100\%)$, foi de 61,89 g.

Aos 150 dias após a semeadura, a matéria seca das raízes do pinhão manso teve ajuste de regressão quadrático para as doses de nitrogênio e linear para os níveis de água disponível (L), sendo assim representados pelas Figuras 30 e 31, respectivamente.

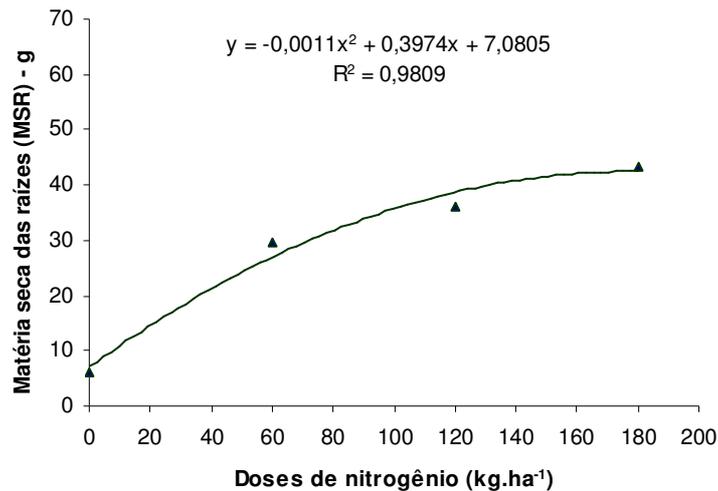


Figura 30. Valores médios dos dados da matéria seca das raízes (MSR) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todas as doses de nitrogênio (Campina Grande, PB, 2007)

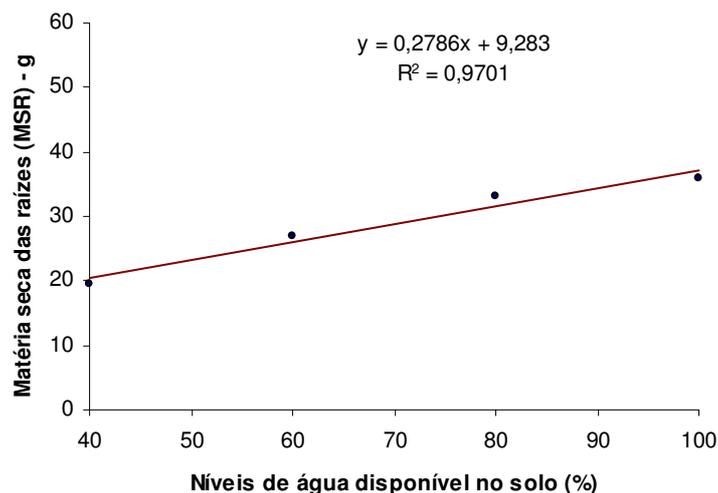


Figura 31. Valores médios dos dados da matéria seca das raízes (MSR) ao final do experimento do pinhão manso (150 DAS), com indicação dos ajustes de regressão para todos os níveis de água disponível no solo (Campina Grande, PB, 2007)

Valida-se com a curva da Figura 30, que o aumento das doses de nitrogênio (N) ocorreu de forma crescente até 180,64 kg.ha⁻¹, aumentando matéria seca das raízes (MSR) do pinhão manso em 42,97 g. Após esta dose, de acordo com o modelo de regressão ajustado, o aumento das doses de N causa redução da MSR.

Constata-se com a Figura 31 que o aumento de 1% dos níveis de água disponível no solo proporcionou um incremento de 0,2786 g na matéria seca das raízes (MSR), indicando que para este estudo quanto maior for o nível (L) maior será a matéria seca das raízes de pinhão manso. O valor de R² indica que o modelo explica 97,01% de variação total observada nos dados.

5.0. CONCLUSÕES

1. O pinhão manso nos primeiros 150 dias do seu ciclo, é muito variável à deficiência hídrica no meio edáfico e a deficiência de nitrogênio que, praticamente, paralisaram o crescimento das plantas.
2. Houve resposta das variáveis de crescimento altura da planta (AP), diâmetro de caule (DC) e área foliar da planta (AFP), à aplicação de nitrogênio (N) e níveis de água disponível no solo (L). Em geral, maiores estimativas das variáveis de crescimento AP e AFC foram obtidas nas maiores doses de N e nos maiores níveis de água (L), correspondentes a 180 kg.ha^{-1} de N [(na forma de sulfato de amônio $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$)] e ao nível 100% de água disponível no solo.
3. Maiores estimativas para a variável de crescimento diâmetro dos caules (DC) da planta pinhão manso ocorreram a 154 kg.ha^{-1} de N [(na forma de sulfato de amônio $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$)] e a 100% do nível de água disponível no solo.
4. Houve resposta das variáveis matéria seca das folhas (MSF), matéria seca dos caules (MSC) e matéria seca das raízes (MSR), à aplicação de nitrogênio (N) e níveis de água disponível no solo (L). Em geral, maiores estimativas das variáveis de fitomassa foram obtidas nas maiores doses de N e nos maiores níveis de água L, correspondentes a 180 kg.ha^{-1} de N [(na forma de sulfato de amônio $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$)] e o nível 100% de água disponível no solo.

6.0. SUGESTÕES PARA OUTROS TRABALHOS

1. Testar os efeitos de doses maiores que 180 kg.ha^{-1} como um dos fatores a serem estudados no crescimento inicial da planta pinhão manso (até, por exemplo, 400 kg.ha^{-1});
2. Testar os efeitos em vasos maiores que 60 l (100 a 200 l) para se obter a produção;
3. Testar os efeitos dos fatores doses de nitrogênio e lâminas de água disponível sobre o crescimento inicial da planta pinhão manso em condições de campo.

7.0.BIBLIOGRAFIA

ALBUQUERQUE.R.C., et. al. **Influência de fontes e doses de nitrogênio sobre o crescimento e desenvolvimento da mamoneira** In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2006, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa, 2006, CD-ROM.

ALI, A.M.; MOHAN, J.C.; SHANTHA, R. Water requirement and yield response of irrigated cotton. **Madras Agriculture Journal**, Coimbatore, v.61, n.8, p.541-5, 1974.

AZEVEDO, J. A.; SILVA, D. B.; ANDRADE. J. M.V.; ANDRADE, L. M. Tensiometria aplicada no manejo da irrigação por pivô-central na cultura do trigo. Rec. Téc.-Embrapa Cerrados,Planaltina, n. 39,p.1-2, setembro de 2001.

BRADY, N. C . The nature and properties of soils.Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo filho. Ed. 7ª Rio de Janeiro, Freitas Brastos, 1989.

BRAGA, R. Plantas do Nordeste, especialmente do Ceará. 3 ed. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORESTAS TROPICAIS, 2., 1976, Mossoró. Anais. Mossoro: Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 1976. p. 412-413 (Coleção Mossoroense, v. XLII).

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Brasília: STI/CIT, 1985. 364p. (Documentos, 16).

CAMPBELL, G.S. Soil water potential measurement: an overview. **Irrigation Science**, New York, v. 9, p. 265- 273, 1988.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, 25:183-188, 1995.

CARNIELLI, F. O combustível do futuro. 2003. Disponível em: www.ufmg.br/boletim/bul1413

CORTESÃO, M. Culturas tropicais: plantas oleaginosas. Lisboa: Clássica, 1956. 231p.

COUTO, L.; SANS, L. M. A. Características Físico-Hídricas e Disponibilidade de Água no Solo. Circular técnica, Embrapa Milho e Sorgo, Sete lagoas – MG, n.21, p. 1-8, setembro de 2003.

DENMEAD, O.T. & SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p. 385-390, 1962.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO. 1977. 144 p. Irrigation and Drainage Paper 24.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa dos Solos. **Manual e métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 1997 212p.

FERNÁNDEZ, S.; VIDAL, D.; SIMÓN, E.; SUGRAÑES, L. Radiometric characteristics of *Triticum aestivum* cv. Astral under water and nitrogen stress. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 15, n. 9, p. 1867-1884, 1994.

GARDNER, W.R. Soil water movement and root absorption. In: Eds. Pierre, W. H.; Kirkham, D.; Pesk, J. & Shaw, R. **Plant environmental and efficient water use**. Am. Soc. Am. J., Madison, Wisconsin, p.127-149, 1966.

GUERRA, H . O. C. Física dos solos, Departamento de Engenharia Agrícola, CCT-UFPB, 175 p., 2000.

HALEVY, J.; KRAMER, O. Nitrogen fertilizer management of cotton grown under drip irrigation in a grumusal. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.7, p.62-72, 1986.

HENDRICKX, J.M.H.; WIERENGA, P.J. Variability of soil water tension in a trickle irrigated chili pepper field. **Irrigation Science**, New York, v. 11, p. 23- 30, 1990.

HELLER , J . Physic nut. Jatrofa curcas L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected . 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gaterleben / International Plant Genetic Resources Institute , Rome. 2006. 66 p.

HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. (editors). **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph, ASAE Monograph. 1990. 1040 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia. Relações solo-planta. São paulo-SP.Ceres, 1979.262 p.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. New York: Academic Press. 1995. 495 p.

LELE, S. The Cultivation of jatropha curcas (2004). Disponível em http://www.svlele.com/jatropha_plant.htm.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 277-294, 1985.

MALAVOLTA, E.; H. P. Haag, F. A. Mello e M.O.C. Brasil sobr. **On the mineral nutrition of some tropical crops**.Int.Potash Inst. Berne -1967.

MENGEL, K. **Ernährug und Stoffwechsel der Pflanze**.ed. Fishee, jena-1965

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. 3 ed. Bern: International Potash Institute,1982. p.295-318.

PEIXOTO, A.R. Plantas oleaginosas arbóreas. São Paulo: Nobel, 1973. 284p.

PENIDO FILHO, P.; VILLANO, F. O emprego éster da mamona nos motores dos veículos FIAT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 3., 1984, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 1984.

POTAFOS, INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba, 1998. 177p.

PRIMAVESI, A. M **La absorción de potasa y tendência de ser afetados por parasitas em los cultivos agrícolas de las regiones tropicales del Brasil**. Rev. potasa 1988.

PURCINO, A. A. C.; DRUMMOND, O.A. Pinhão manso. Belo Horizonte: EPAMIG, 1986. 7p.

RATLIFF, L.F.; RITCHIE, J.T. & CASSEL, D.K. A survey of field measured limits of soil water availability as related to laboratory-measured properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 47:770-775, 1983.

RADIN, J.W.; MAUNEY, J.R.; GUINN, G. Effects of N fertility on plant water relations and stomatal responses to water stress in irrigated cotton. **Crop Science**, Madison, v.25, n.1, p.110-15, 1985

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2.ed. Piracicaba:USP/ESALQ,1996. 505p.

RITCHIE, J.T. Soil water availability. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 58, p. 327-338, 1981.

SANTOS, A.C.M. et al. Deficiência de nitrogênio 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, 2004. 1 CD-ROM.

SAAD, A.M. & LIBARDI, P.L. Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante. Publicação IPT, São Paulo, nº 2002, 27p., 1992

SATURNINO , H . M.; PACHECO, D. D. ; KAKIDA , J. ; TOMINAGA , N . ; GONÇALVES , N. P. Cultura do pinhão manso (*Jatrofa curcas L.*) . Informe agropecuário , Belo Horizonte , v. 26 , n. 229 , p. 44 – 78 , 2005.

SEVERINO, L. S.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Método para medição da área foliar do pinhão manso. IN: I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel. Anais, Brasília, 2006.

SEVERINO, L. S. et al. Pinhão manso - Recomendações técnicas sobre o plantio no Brasil. Folder, Embrapa Algodão, 2007.

SISVAR 4,6. FERREIRA, D.F. Programa de Análise Estatística- Universidade Federal de Lavras, 2003, CD ROM.

SILVA, A.P. da & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, .61:877-883, 1997.

SOUZA, C.C. de. **Avaliação de métodos de determinação de água disponível em diferentes solos na cultura do algodoeiro herbáceo.** Areia: CCA/UFPB, 1999, 84p. Dissertação Mestrado.

STEELE, D.D.; SCHERER, T.F.; PRUNTY, L.D.; STEGMAN, E.C. Water balance irrigation scheduling: comparing crop curve accuracies and determining the frequency of corrections to soil moisture estimates. **Applied Engineering in Agriculture**, New York, v. 13, p. 593- 599, 1997.

STEINBERG, R. A. **Physiol.** 28:752- 1953.

TAYLOR, S.A. Managing irrigation water on the farm. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 8, p. 433- 436, 1965.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba, Agropecuária, 1997, 247p..

TOPP, G.C.; GALGANOV, Y.T.; WIRES, K.C.; CULLEY, J.L.B. **Non limiting water range (NLWR): an approach for assessing soil structure.** Technical report no 2 - Soil Quality Evaluation Program. Agriculture and Agri-Food Canada. 36p, 1994.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. da; GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V. Intervalo ótimo de potencial de água no solo: um conceito para avaliação da qualidade

física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.286-92, 1999.

VICKERY, H. B. , G. W. PUSHER, R. SCHOENHEIMER e E. d. Rittenberg -1940. J. Biol. Chem. 135:531.