



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

## Dissertação de Mestrado

CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO  
GERGELIM EM ESTRESSE HÍDRICO EM  
SUBSTRATO DE BIOSSÓLIDO E ADUBO QUÍMICO

SANDI ALVES BEZERRA

Biblioteca UFCG  
SMBC\_CDSA  
CAMPUS DE SUMÉ  
Reg. 12549/13

Campina Grande  
Paraíba

UFCG

UFCG

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

**DISSERTAÇÃO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO GERGELIM EM  
ESTRESSE HÍDRICO EM SUBSTRATO DE BIOSSÓLIDO E  
ADUBO QUÍMICO**

**SANDI ALVES BEZERRA**

Campina Grande - Paraíba

Fevereiro - 2008

Dis  
631(043.3)  
B574  
Ex = 01

UFCG

UFCG

UFCG/BIBLIOTECA/BC

**SANDI ALVES BEZERRA**

Engenheiro Agrônomo

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO GERGELIM EM ESTRESSE  
HÍDRICO EM SUBSTRATO DE BIOSSÓLIDO E ADUBO QUÍMICO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências do Curso para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

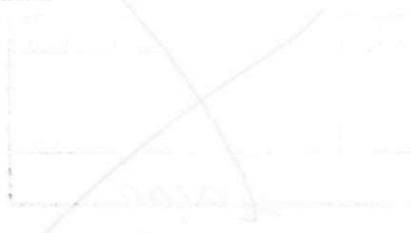
Orientadores: **Carlos Alberto Vieira de Azevedo**

**José Dantas Neto**

Campina Grande – Paraíba

Fevereiro – 2008

Dm  
631.64:633.85(043)  
B 544 c



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B574c

2008 Bezerra, Sandi Alves.

Crescimento e desenvolvimento do gergelim em estresse hídrico em substrato de biossólido e adubo químico / Sandi Alves Bezerra. — Campina Grande, 2008.

48 f. : il.

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

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo, Prof. Dr. José Dantas Neto.

1. *Sesamum indicum* L.. 2. Suplementação d'Água. 3. Coeficiente de Depleção. 4. Rendimento. I. Título.

CDU – 631.67:633.85 (043)



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



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

SANDI ALVES BEZERRA

CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO GERGILIM SOB STRESSE HIDRÍCO EM  
SUBSTRATO DE BIODISSÓLIDO E ADUBO QUÍMICO

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo - Orientador

Aprovado

Dr. José Dantas Neto - Orientador

APROVADO

Dr. José Queiroga Nóbrega - Examinador

Aprovado

Dra. Marinévea Medeiros de Oliveira – Examinador

Aprovado

FEVEREIRO - 2008

## AGRADECIMENTOS

A Deus por sua inífinita bondade e misericórdia que nos protege a cada dia dando-nos força para superarmos os obstáculos da vida.

A minha esposa Solange Maria Almeida Bezerra e filho Daniel Almeida Bezerra e Danilo Almeida Bezerra pelo incentivo e compreensão sobre esta realização.

Ao UAEAg/UFMG, pela oportunidade proporcionada para a realização do Curso e a Coordenadora do Programa de Pós-Graduação Josivanda Palmeira Gomes.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo, pela atenção, paciência, incentivo e orientação em toda a execução do trabalho.

Ao Colega Dima de Assis Bandeira, in memoriam por sua amizade e incentivo para a realização do curso.

Ao Dr. João Felinto dos Santos pela ajuda na organização da Dissertação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola que contribuíram com meu ensinamento para minha formação de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Ao diretores da Emepa: Dr. Miguel Barreto Neto; Dr. Camilo Flamarion de Oliveira Franco e Dr. Kenard Torres Soares pelo incentivo e apoio para realização do curso.

A Luciano, Sebastião, Valneide, pela amizade e pela grandiosa participação e apoio durante a elaboração desse trabalho.

A Secretária do Curso de Pós-Graduação Rivanilda Diniz Sobreira de Almeida pela compreensão e atenção durante o curso.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização e conclusão deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIMBOLOS

RESUMO

ABSTRACT

1. – INTRODUÇÃO.....	1
2 - OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO ESPECÍFICOS	3
3.- REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3.1 – Botânica.....	4
3.2 - Demanda Hídrica do Gergelim e o Turno de Rega.....	5
3.3 – Estresse Hídrico.....	10
3.4 – Respostas do sistema radicular à deficiência hídrica	11
3.5 – Respostas do sistema radicular à deficiência hídrica.....	11
3.6 – Adubação química.....	11
3.6 .1 Nitrogenio,Fosfóro, Potássio	12
3.6.2 – Adubação orgânica.....	13
3.7 – O Biossólido como fertilizante.....	14
4. – MATERIAIS E MÉTODOS .....	
4.1 - Delineamento Experimental e Casualização.....	18
4.2 – Material Genético.....	18
4.3 - Determinação do Plano de Irrigação.....	20
4.4 - Determinação do Plano de Adubação.....	21
4.5 - Implantação do Projeto, Condução do Experimento e Controle da Irrigação..	22
4.6 - Coleta de Dados.....	22
4.7 - Análise dos Dados Coletados.....	22
5. - RESULTADOS E DISCUSSÃO	24

5.1 - Altura da planta	
5.2 - Diâmetro do caule	
5.3 – Área Foliar	
5.4 – Massa seca da parte aérea (MSA)	
5.5 - Massa seca da raiz	
5.6 – Efeito dos adubos quanto a: altura de planta, diâmetro do caule, área foliar, matéria seca da parte aérea e da raiz	27
5.7 – Número de folhas, flores e frutos, matéria seca do caule (g) e produção de frutos e sementes por planta	
6. – CONCLUSÃO .....	30
.....	
7. - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
8. - Anexos	

## Lista de Tabelas

- Tabela 1 – Composição física e química parcial do lodo de esgoto digerido
- Tabela 2 – Teores de metais pesados (mg Kg<sup>-1</sup>) no solo, no lodo digerido e no biossólido utilizado na pesquisa.
- Tabela 3 – Relação dos 32 tratamentos casualizados
- Tabela 4 – Quantidade totais (g) de adubo em cada unidade experimental AB e AM
- ]Tabela 5 – Relação dos 8 tratamentos
- Tabela 6 - Quantidade totais (g) de adubo em cada unidade experimental AB e AM
- Tabela 7 - Resumo da análise de variância (ANOVA) dos dados de altura de planta do gergelim nos períodos de 30, 45,60,75 e 90 DAE
- Tabela 8 - Resumo da análise de variância (ANOVA) dos dados de diâmetro caulinar de planta do gergelim nos períodos de 30, 45,60,75 e 90 DAE.
- Tabela 9 - Resumo da análise de variância (ANOVA) dos dados de área foliar da planta do gergelim nos períodos de 30, 45,60,75 e 90 DAE
- Tabela 10 - Resumo da análise de variância (ANOVA) dos dados da massa seca da parte aérea (MAS), em, grama de gergelim, em função dos tipos de adubação aplicado e dos níveis de estresse hídricos utilizados.
- Tabela 11 – Médias de altura de planta (cm) em função de adubos.
- Tabela 12 - Médias de diâmetro do caule (mm) em função de adubos.
- Tabela 13 - Médias da matéria seca da parte aérea em função de adubos.
- Tabela 14 - Médias de matéria seca da raiz (g) em função de adubos.
- Tabela 15 – Médias de número de folhas, flores e frutos, matéria seca de fritos e sementes por planta em função do estresse hídrico.

## Lista de Símbolos

TCA – Taxa de crescimento absoluto

TCR – Taxa de crescimento relativo

AFE – Razão área foliar

ETA's – Estações de tratamentos de água

RAS – Relação de adsorção de sódio

PST – Percentagem de sódio trocável

CTC – Capacidade de troca catiônica

CD1 – Coeficiente de depleção de 0%

CD2 – Coeficiente de depleção de 20%

CD3 – Coeficiente de depleção de 40%

CD4 – Coeficiente de depleção de 60%

AB – Adubação com biossólido, na dosagem 1375 kg. ha<sup>-1</sup>

AM – Adubação mineral com uréia, na dosagem de 125 kg. ha<sup>-1</sup>

DTA – Disponibilidade total de água

CC – Capacidade de campo

PM – Ponto de Murcha Permanente

Da – Densidade aparente do solo

V – água disponível

DRA – Disponibilidade real de água no solo

*f* - Fator de disponibilidade

S – Área foliar

$\phi$  - Fator de área foliar para cultura

L = Largura

# CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO GERGELIM EM ESTRESSE HÍDRICO EM SUBSTRATO DE BIOSSÓLIDO E ADUBO QUÍMICO

## RESUMO

O Gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma das mais importantes culturas oleaginosas, sendo as sementes e óleo altamente valorizado como um alimento tradicional na saúde. Esta pesquisa teve como objetivo determinar os índices de crescimento e de rendimento quando submetido a diferentes níveis de suplementação de água e doses de adubo. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em um fatorial 4 x 2 com 4 repetições. Os fatores estudados foram: fator A - variação do turno de rega determinado pelo coeficiente de depleção CD<sub>1</sub> – coeficiente de depleção de 0%; CD<sub>2</sub> – coeficiente de depleção de 20%; CD<sub>3</sub> – coeficiente de depleção de 40% e CD<sub>4</sub> – coeficiente de depleção de 60%; fator B: Aplicação de dois diferentes adubos nitrogenados, AB – adubação com biossólido, na dosagem de 1375 kg.ha<sup>-1</sup> e AM – adubação mineral com uréia, na dosagem de 125 kg.ha<sup>-1</sup>. O ensaio foi conduzido em área protegida, na Universidade Federal de Campina Grande, localizada a 7° 15'18" S e 35° 52'28" W, altitude de 552 metros. Para se calcular os teores de umidade do solo em cada tratamento (vaso) determinou-se o peso crítico de cada vaso correspondente aos diferentes coeficientes de depleção e, uma vez feita a irrigação, foram efetivadas as pesagens diárias, cujo peso, hora e data foram anotados em planilha; cada tratamento era irrigado novamente, quando esta atingia o peso correspondente à disponibilidade crítica de água para aquele tratamento. Após a germinação, foi realizado um desbaste permanecendo apenas 4 plantas em cada vaso, e se coletando, a cada 30 dias, uma planta, para determinação do peso seco da raiz. A coleta de dados foi realizada quinzenalmente, com o início quinze dias após a completa germinação. As variáveis analisadas foram: diâmetro do coleto; altura da planta; área foliar (largura x comprimento); início da floração; início da produção de frutos; massa morta das raízes e da parte aérea e rendimento. Verificou-se que não houve diferenças significativas para a altura de planta, diâmetro do caule, área foliar, matéria seca da raiz e para matéria seca da parte aérea (MSPA) aos 30 e 45 DAE, mas houve diferença estatística para esta variável aos 60, 75 e 90 DAE, nos diferentes estádios de desenvolvimento, em função dos níveis de estresse

hídrico, embora tenha ocorrido ligeira tendência para aumento da estatura da planta até 40% de estresse hídrico. Os resultados indicam que o gergelim é tolerante ao estresse hídrico, uma vez que nos diferentes níveis aplicados até supressão de 60% da água (40% de umidade disponível no solo) essas variáveis tiveram o mesmo comportamento. Não houve diferença do efeito das diferentes fontes de nitrogênio aplicadas sobre as variáveis estudadas. O gergelim apresentou melhores respostas dos componentes de produção em nível de água 40% de estresse hídrico, que correspondem a 60% da capacidade de campo. O bio sólido poderá substituir a uréia como adubo nitrogenado para o cultivo do gergelim.

**Palavras-chave:** *Sesamum indicum* L., suplementação d'água, coeficiente de depleção, rendimento.

# GROWTH AND DEVELOPMENT UNDER THE SESAME WATER STRESS ON SUBSTRATES OF BIOSOLID AND FERTILIZER

## ABSTRACT

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of the most important oilseed crops, having seeds and oil that are highly valued as a traditional health food. This research aimed to determine the rate of growth and yield when submitted to different levels of water supplementation and rates of fertilization. The experimental design applied was the completely randomized design; at factorial 4 x 2 with 4 replication. The factors studied were: Factor A: range of turn of irrigation determined by the coefficient of depletion CD1 - coefficient of depletion of 0%; CD2 - coefficient of depletion of 20%; CD3 - coefficient of 40% and depletion of CD4 - coefficient of depletion of 60%. Factor B: Application of two different types of nitrogen fertilizer.: AB - with biosolid fertilizer, in the dosage of 1375 kg.ha<sup>-1</sup> and AM - mineral fertilizer with urea, in the dosage of 125 kg.ha<sup>-1</sup>. The experiment was carried out in the protected area, at the Federal University of Campina Grande, located at 7 ° 15'18 "S and 35 ° 52'28" W, and altitude of 552 meters. To calculate the levels of soil moisture in each treatment (pot), it was determined the critical weight of each vessel corresponding to the different coefficients of depletion and once made the irrigation, were effective as daily weighings, whose weight, time and date were recorded in spreadsheet; each treatment was irrigated again, when it reached the critical weight corresponding to the availability of water for that treatment; after germination, was made a thinning where only 4 remaining plants in each pot, and if cotelando, each 30 days, a plant for determination of the dry weight of the root. The data collection was performed twice, beginning 15 days after germination complete; variables collected are: diameter of collect; height of the plant, leaf area (width x length) of each; beginning of flowering; start of production of fruits; mass of dead roots and shoots of the plant and production. It was found that there were no significant differences for plant height, diameter of the stem, leaf area, the dry root and shoot dry matter (MSPA) at 30 and 45 DAE, but was no statistical difference in

this variable at 60 , 75 and 90 DAE, in the different stages of development of the culture of sesame, depending on the levels of water stress, although it occurred slight tendency to increase the stature of the plant up to 40% of water stress. The results induce that the sesame is tolerant to drought stress since the different levels of water stress by removal of 60% of water (40% of available moisture in the soil) these variables had the same behavior. There was no difference of the effect of the different sources of nitrogen applied on the variables studied. The sesame presented better answers of the components of production in water level of 40% of water stress, which corresponds to 60% of capacity in the field. The biosolid can replace the urea as nitrogen fertilizer for sesame crop.

**Key-words:** *Sesamum indicum* L., water supplementation , coefficient of depletion, yield.

## 1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, a demanda energética mundial precisa ser atendida mas as fontes convencionais estão em vias de esgotamento, além de provocarem efeitos ambientais agressivos. Ante esses aspectos, tem-se pesquisado fontes energéticas renováveis destacando-se as leguminosas como excelente alternativa.

No Nordeste brasileiro o cultivo de oleaginosas é praticado sobretudo em cultivo extensivo em regime de sequeiro. Tendo em vista a produção de biodiesel, a ampliação do mercado traz novas e favoráveis perspectivas em relação a essas culturas na região.

Existem culturas alternativas que se adaptam às condições edafoclimáticas da região, tais como mamona, amendoim, algodão e principalmente o gergelim, dotadas de elevada e reconhecida capacidade de resistência à seca (Weiss, 1983).

No Brasil, o gergelim só passou a ser cultivado comercialmente na região Nordeste, a partir de 1986, com o fomento e pesquisa com a cultura, nos Estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Paraíba; outrossim, a ociosidade da indústria de óleo nordestina, a resistência da planta à seca e a facilidade de seu cultivo aliadas às chances de exportação do óleo para a Europa e Ásia, permitem afirmar que existem grandes possibilidades do gergelim se tornar uma cultura de grande importância para o Nordeste brasileiro em um futuro próximo (Beltrão, 1994).

O principal produto do gergelim é o grão (semente). Os grãos são comestíveis, fornecem óleo e farinha, contêm vitaminas A, B e C e possuem bom teor de cálcio, fósforo e ferro (grãos pretos são mais ricos em cálcio e vitamina A); as sementes de gergelim são pequenas, achatadas, de coloração variando do branco ao preto; por outro lado, os altos teores de ácidos graxos insaturados no óleo e de proteína digestiva fazem do gergelim um alimento de excelente qualidade para o homem e animais domésticos não ruminantes; sua torta apresenta alto teor de proteína (39,77%), baixo teor de fibras (4,7%) obtida por prensagem dos grãos e ainda possui 8,2% de umidade, 12,8% de óleo, 22,8% de carboidratos e 11,8% de cinzas (Beltrão et al., 1989).

Outra característica peculiar do óleo de gergelim é sua função de ativador de certas substâncias inseticidas, como a rotenona e a piretrina, dentre outras, cujos efeitos tóxicos são aumentados em presença do óleo de gergelim; esta propriedade não foi encontrada em nenhum outro óleo e é atribuída principalmente à sesamina; já a sesamolina, quando submetida à hidrólise ácida, produz sesamol e sesamina (Silva, 1993).

Por sua tolerância ao estresse hídrico, o cultivo de gergelim constitui uma alternativa de exploração em pequenas comunidades rurais, representando um suporte socioeconômico de alta importância para a região semi-árida nordestina, haja que são poucas as oportunidades para o agronegócio da agropecuária, em função das condições edafoclimáticas adversas, do minifúndio presente e da baixa tecnologia e conhecimento dos produtores.

Apesar da significância socioeconômica do gergelim para o nordeste brasileiro, constata-se que poucos foram os trabalhos de pesquisa desenvolvidos na região deixando uma lacuna em termos de resultados de pesquisa com relação à definição de genótipos, sistema de produção e comportamento da cultura e quanto à demanda hídrica, o que dificulta sua expansão e difusão para pequenos agricultores servindo mais como cultura alternativa e fonte de renda.

Face ao exposto, a introdução da cultura do gergelim no semi-árido paraibano é revelante para a região, com ênfase à definição da sua capacidade de tolerar os níveis de estresse hídrico submetidos à fertilização com biossólidos com fonte orgânica para sua nutrição, visando oferecer uma cultura alternativa de alto valor comercial, fonte de óleo comestível e seus derivados que, também, devem ser utilizados como biodiesel, disponibilizando os restos culturais ricos para alimentação humana e aves, os quais refletirão na melhoria das condições socioeconômicas dos produtores e suas famílias.

## **2 - OBJETIVOS**

Objetivou-se com a pesquisa determinar os índices de crescimento e de produção do gergelim quando submetido a diferentes níveis de supleção de água e doses de adubação.

### **2.1 - Específicos**

- a) Determinar o melhor fator de supleção de água no solo para o cultivo de gergelim irrigado.
- b) Comparar o uso de biossólidos como fonte de nitrogênio com a ureia, no índice de crescimento e produção do gergelim irrigado.
- c) Determinar os índices de crescimento da cultura, ao longo do ciclo.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 – Botânica

O gergelim é conhecido pelo nome científico de *Sesamum indicum* L, Dicotyledonae, Pedaliaceae e, vulgarmente, por sésamo, zirgelim, girgilim e jorgelim. A planta pode crescer como pequeno arbusto alcançando altura de 1,8 m; seu hábito de crescimento é ramificado ou não, as folhas da parte alta têm forma de ponta de lança, as mais baixas são mais largas, arredondadas ou dentadas; as flores podem ter cor rósea, branca ou violeta e o fruto é uma baga alongada com pelugem contendo sementes pequenas cuja cor varia do branco ao preto (EPSTEIN, 2000).

As cultivares (variedades) podem ser diferenciadas por diferentes atributos da planta, como altura, ciclo, coloração do caule, das folhas e das sementes - tipo de ramificação e resistência às pragas. Cultivares que apresentam cor da semente branca ou creme, possuem maior valor comercial (sementes escuras têm demanda restrita ao uso caseiro e medicinal); adaptam-se ao Nordeste e cerrados de Goiás, exigem áreas com altitude média de 250 m, temperatura de 25-27 °C, precipitações entre 400 e 600 mm anuais, solos profundos (acima de 60cm), pH em torno de 7; são necessários 3 kg de sementes para se plantar 1 hectare no espaçamento de 0,6-0,8 x 0,1-0,2 m (EPSTEIN, 2000).

Segundo Beltrão et al. (1994) em relação às características edafoclimáticas do Nordeste a EMBRAPA tem recomendado as cultivares CNPAG2, CNPAG3 e CNPAG4 para plantio, a saber:

**CNPAG2:** obtida no CPATSA/Embrapa, tem porte mediano, ciclo médio (100 dias), 3 frutos/axila, sementes de coloração creme, tolerância à mancha angular e susceptibilidade à cercosporiose e à murcha de macrofomina; é recomendada para plantio de sequeiro ou irrigado, em todo o Nordeste.

**CNPAG3:** porte mediano (altura até 160 cm), ciclo médio (100 dias), hábito de crescimento ramificado; possui resistência a mancha angular e susceptibilidade à cercosporiose e murcha de macrofomina; é indicada para regiões nordestinas onde a mancha angular se tornou problema.

**CNPAG4: (BRS 196):** plantas com haste de cor verde, ausência de pelo nas folhas e hastes, porte de 155 cm (porte mediano), precoce (90 dias), crescimento ramificado, floração/maturação uniformes, sementes de cor creme, um fruto por axila foliar, teor de

óleo de 48-50%, peso médio de 1.000 sementes de 3,1 gramas, tolera murcha de macrofomina, mancha angular e cercosporiose.

O gergelim prefere solos profundos acima de 0,6m, com textura franca, bem drenados e de boa fertilidade natural (macro e micronutrientes) e nunca solos salinos; a planta pode crescer/desenvolver-se em tipos diversos de solo sem atingir a plenitude observada nos solos preferenciais.

Segundo EPSTEIN (2000) em condições ambientais a cultura do gergelim completa o seu ciclo entre 3 e 4 meses, por apresentar frutos deiscentes, que se abrem naturalmente na maturação e deixam cair as sementes, que se perdem; na maioria das cultivares, a colheita do gergelim requer cuidados específicos para evitar as perdas no campo.

### **3.2 - Demanda Hídrica do Gergelim e o Turno de Rega**

BELTRÃO (et al. 2001) ressaltam serem poucas as pesquisas a respeito das necessidades hídricas do gergelim; segundo os autores, isto ocorre devido ao fato de a cultura ainda não ser produzida no Brasil em escala comercial.

O consumo de água por uma cultura qualquer variará de acordo não só com as condições climáticas da região de cultivo, com o tipo e propriedades do solo mas e também com a fase fenológica da cultura. BEECH (1981), citado por BELTRÃO et al. 200) afirmam que as maiores produções do cultivo do gergelim são obtidas em regiões de clima árido, em condições de irrigação, pois tal clima favorece o desenvolvimento da cultura e a baixa umidade do ar dificulta o surgimento de doenças fúngicas.

Investigações sobre a aplicação correta de água no cultivo economicamente viável do gergelim, são imprescindíveis, uma vez que a planta é sensível a solos encharcados e, de modo geral, em condições de estresse hídrico as culturas não produzem satisfatoriamente bem.

Na tabela criada por DOOREMBOS & PRUITT (1997) na qual eles citam os períodos críticos no ciclo fenológico de diversas culturas com relação ao estresse hídrico no solo, para todas as oleaginosas citadas, à exceção da mamona, o período crítico é o da floração, fase decisiva para a determinação da formação das cápsulas; surge, então, a necessidade da determinação das demandas hídricas do gergelim em suas diversas fases fenológicas.

Esta determinação do turno de rega tem importância no que diz respeito ao manejo geral da cultura, uma vez que determinado o espaço, em dias, entre duas irrigações sucessivas, esse tempo intermediário pode ser utilizado na realização de outras atividades relativas à cultura (tratos culturais), o que poderá significar economia de mão-de-obra e otimização do manejo.

### 3.3 - ESTRESSE HÍDRICO

O termo estresse é usado constantemente por biólogos, ecólogos e agrônomos, para descrever as respostas dos organismos submetidos aos fatores ambientais potencialmente desfavoráveis à vida (PLAUT, 1995). A deficiência hídrica é uma situação frequente à produção de muitas culturas, podendo gerar impacto negativo e expressivo ao crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas (LECOEUR & SINCLAIR, 1996); tais efeitos variam em função da intensidade, da velocidade de imposição e estágio de desenvolvimento da planta (KRAMER & BOYER, 1995).

As oleaginosas amendoim, mamona e algodão são referenciadas com estudos sobre mecanismos morfológicos e fisiológicos de resposta à deficiência hídrica; por outro lado, são poucos os relatos, na literatura, sobre o comportamento do gergelim em tais condições.

Constantemente, as plantas cultivadas estão expostas a estresses abióticos ou bióticos e às interações, que causam modificações no crescimento, metabolismo e rendimento agrícola. LAWLOR (2002) destaca que os principais fatores abióticos limitantes da produtividade das culturas, são: seca, salinidade, baixas e altas temperaturas, enchentes, poluentes e excesso de radiação. A seca é o primeiro entrave da produtividade agrícola mundial (KRAMER e BOYER, 1995; REDDY et al., 2004).

A tolerância à seca apresenta alta variabilidade entre espécies (KRAMER e BOYER, 1995). Salienta-se que as espécies oleaginosas mostram alto potencial de expansão no Nordeste do Brasil, visto serem tolerantes às condições de seca, destacando-se o amendoim (TÁVORA et al., 1985), o gergelim, (BELTRÃO, 2001) e a mamona (BELTRÃO e ARAÚJO, 2004). O Nordeste do brasileiro caracteriza-se por apresentar precipitações pluviárias irregulares no tempo e no espaço incrementando, assim, a probabilidade da ocorrência de eventos, como os veranicos, durante a fase crítica de necessidade de água dos vegetais (PINTO, 2006).

A resposta das plantas à seca pode ser estudada em variados ambientes, por exemplo, em placas de Petri, no laboratório; em solução nutritiva ou em vasos com terra, em câmara de crescimento ou em estufas; no campo, em centros de pesquisa ou, ainda, sob condições de campo para exploração agrícola (PIMENTEL, 2004).

Para TURNER (1997) a capacidade dos vegetais produzirem quando cultivados em condições de déficit hídrico é referida como resistência à seca; em geral, as espécies são classificadas em: a) escapam da seca; b) toleram a seca com alto potencial hídrico e c) toleram a seca com baixo potencial hídrico.

A água, além de ser o componente majoritário da célula, é essencial ao crescimento e manutenção da turgescência. Segundo PETRY (1991), a água é imprescindível na manutenção da turgescência celular permitindo a continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese.

A perda de água do tecido da planta produz efeitos diretos: a) redução do potencial químico ou atividade da água; b) concentração de macromoléculas e de solutos de baixos pesos moleculares; c) alterações nas relações espaciais em membranas e nas organelas, através da redução do volume; d) redução na pressão hidrostática dentro das células, além de outros (DENADAI & KLAR, 1995).

O potencial de água da folha e o conteúdo relativo de água são reduzidos na medida em que a disponibilidade de água do solo vai diminuindo (LAWLOR; CORNIC, 2002; KRAMER e BOYER 1995), provocando perda da turgescência e fechamento dos estômatos (MANSUR e BARBOSA, 2000).

O déficit hídrico tem efeitos em diversos processos fisiológicos das plantas aumentando, comumente, a resistência estomática, reduzindo a transpiração e, em consequência o suprimento de CO<sub>2</sub> para a realização do processo de fotossíntese (NOGUEIRA et al., 1998; CHAVES, 1991); outros processos também são afetados, como a produção de ácido abscísico, abscisão foliar e ajustamento osmótico (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O fechamento estomático é um mecanismo significativo de defesa que as plantas apresentam contra perdas exageradas de água e eventual morte por dessecação (GLEEN et al., 2000). Conforme BLUM (1997), a disponibilidade hídrica é um dos fatores que mais afetam o crescimento de folhas e raízes, a condutância estomática, a fotossíntese e acumulação de matéria seca. Os vegetais submetidos à seca exibem mecanismos de adaptação que previnem a perda de água para o ambiente e mantêm sua hidratação; a exemplo, a redução da área foliar, já

que com uma área menor a planta transpira menos permitindo o uso do suprimento de água limitado no solo, por um período mais longo (TAIZ & ZEIGER, 2004).

BOYER (1970) analisando os efeitos da deficiência hídrica nas culturas do milho, soja e girassol, constatou que as reduções no potencial hídrico e do crescimento foliar antecederam ao ocorrido na fotossíntese ou a respiração.

BHAGASARI et al. (1976) afirmaram que o decréscimo na fotossíntese líquida em amendoim acompanhou a redução no conteúdo relativo de água (CRA). A fotossíntese e a condutância estomática tiveram grandes decréscimos quando o CRA caiu de 85 para 75%. CHAVES (1991) propôs o fechamento estomático como primeira linha de defesa ao dessecação, o mesmo ocorrendo antes da redução do conteúdo relativo da água (YORDANOV et al., 2000).

PRISCO (1986) pondera que qualquer mecanismo de resistência à seca que afete a fotossíntese, reduz a produtividade dos vegetais e, quanto para TEARE & PEET (1983), a diminuição da área foliar afetou a fotossíntese e a produtividade das plantas.

Geralmente, as plantas sob condições de estresse hídrico reduzem o fluxo de vapor d'água do interior da câmara subestomática para a atmosfera, propiciando diminuição na transpiração (GUCCI et al., 1996; THOMAS et al., 2000).

O déficit hídrico se desenvolve nas plantas quando a taxa de transpiração das folhas excede a absorção de água nas raízes e ocorre, normalmente, nas horas mais quentes do dia, situação que se desencadeia a partir do momento em que o potencial hídrico do solo ( $\Psi_{\text{solo}}$ ) na rizosfera declina a níveis subótimos e/ou o déficit de pressão de saturação de vapor d'água entre a folha e a camada de ar limítrofe se torna alto (BERKOWITZ, 1998). Xue et al. (2004) consideram o status hídrico do solo e o déficit de pressão de vapor atmosférico principais moduladores das trocas gasosas dos vegetais; para LARCHER (2000), os estômatos atuam como moduladores da perda de água pela transpiração, respondendo ao déficit hídrico com a alteração da abertura do poro, a uma faixa crítica de valores do potencial hídrico foliar.

Usualmente, quando o potencial hídrico do solo é baixo a abertura dos estômatos não é mais dependente da radiação solar e, sim, do potencial da folha o qual, por sua vez, é dependente da umidade do solo (DUBÉ et al., 1974).

De acordo com MACHADO et al. (1999), o incremento da concentração interna de  $\text{CO}_2$  sob baixos valores de potencial de água na folha pode estar relacionado à queda na atividade das enzimas envolvidas no processo de fixação de  $\text{CO}_2$ . CALBO et al. 1997 notaram, durante a fase de deficiência hídrica, altas concentrações internas de  $\text{CO}_2$  sugerindo que a redução

observada na taxa de fotossíntese ocorreu independentemente do aumento da resistência estomática. LOPES et al. (1998) constataram que o déficit hídrico reduz o índice de troca de CO<sub>2</sub> e a sua condução para as folhas, diminuindo sua concentração nos espaços intercelulares. Outros fatores associados à queda na taxa fotossintética são as altas temperaturas e altos déficits de pressão de vapor na atmosfera, tornando-se mais crítico quando ocorre deficiência hídrica do solo (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Com frequência, a acumulação de carboidratos é observada sob condições de seca e pode limitar a taxa fotossintética através da diminuição do suprimento de fosfato inorgânico no ciclo de Calvin (CHAVES, 1991).

Em algodão, SILVA et al. (1998) relataram que o algodoeiro herbáceo, cv. CNPA 6H, cultivado no tratamento não estressado, apresentou superioridade em altura de planta, área foliar, fitomassa e rendimento, em relação aos valores obtidos no tratamento estressado e que os componentes tecnológicos da fibra da cultura considerados na pesquisa receberam a mesma classificação de finura, maturidade, resistência e comprimento. Pereira et al. (1998) observaram decréscimo da percentagem de sementes deterioradas e de plântulas anormais e o aumento da percentagem de sementes duras, nos genótipos de algodoeiro herbáceo em estudo, na medida em que aumentava a pressão osmótica da solução em decorrência da diminuição da absorção de água para embebição (entumescimento) das sementes.

SOUZA et al. (2002) notaram que o manejo das irrigações do algodoeiro com base em 40% da água disponível, determinado pelo método direto, é suficiente para proporcionar o maior desenvolvimento da área foliar, acumulação de fitomassa na parte aérea e consequente aumento na taxa de evapotranspiração da cultura.

Segundo OLIVEIRA et al. (2006), o estresse hídrico em algodoeiro, tanto por excesso como por deficiência e tempo de duração de (3 a 6 dias) não influenciou as características intrínsecas à fibra, como comprimento médio, uniformidade de comprimento, índice de fibras curtas, resistência à ruptura e percentagem de fibras.

Em amendoim, NOGUEIRA & SANTOS (2002) constataram que as cultivares diferem nas características de prevenção e de tolerância ao estresse hídrico. A cv CNPA Havana tem maior capacidade de prevenção enquanto a BR 1, a Senegal 55437 e a BRS 151 L7, são mais tolerantes. A BR 1 mantém resistência estomática menor e apresenta valores mais negativos de potencial hídrico foliar, demonstrando ser a variedade mais adaptada à região Nordeste.

Em mamona, BARROS JÚNIOR et al. (2004 a e b) verificaram que a germinação não foi afetada pelo estresse hídrico porém os parâmetros de crescimento se correlacionaram de

forma positiva e direta, com o teor de água no solo enquanto os níveis mais baixos de água disponível no solo interferiram na altura da emissão da primeira inflorescência apresentando uma diferença média de 15 cm em relação ao tratamento sem estresse hídrico.

Beltrão et al. (2004), notavam que a cultivar de mamona BRS 149 Nordestina é muito sensível ao estresse hídrico na sua fase inicial do desenvolvimento e do crescimento, cuja área foliar por planta foi bastante reduzida pelo estresse hídrico e que a fotossíntese líquida ou aparente foi reduzida linearmente com a duração do estresse hídrico, independente se por excesso ou deficiência de água no ambiente edáfico.

De acordo com Moraes et al. (2004), durante dois dias o encharcamento prejudicou o crescimento da planta sem, contudo, levá-la à morte, havendo continuidade no crescimento, embora mais lento; por outro lado, Severino et al. (2004), observaram que a mamoneira não sobreviveu ao encharcamento de 4 dias.

### **3.4 - Respostas do sistema radicular à deficiência hídrica**

Os estudos sobre distribuição do sistema radicular são tidos como essenciais ao manejo adequado das plantas cultivadas; além disso, a deficiência hídrica estimula o crescimento das raízes em profundidade para as zonas mais úmidas do perfil do solo (SANTOS & CARLESSO, 1998). SOUZA et al. (1983) afirmaram que as espécies e variedades com sistema radicular mais profundo apresentam melhor adaptação à escassez hídrica. De acordo com Hoogenboom et al. (1987), em condições de deficiência hídrica ocorre maior desenvolvimento do sistema radicular em virtude do dessecação da superfície do solo.

Em geral, as plantas com deficiência hídrica moderada têm o crescimento da parte aérea reduzido da parte radicular, propiciando incremento na relação entre raiz/parte aérea (KRAMER & BOYER, 1995). O estresse moderado reduz o crescimento foliar antes de diminuir a taxa fotossintética resultando em excesso de carboidratos para as raízes (BOYER, 1970). Por outro lado, sob deficiência hídrica severa ocorre redução no crescimento radicular do feijoeiro (GUIMARÃES et al., 2006); já em tomate, a densidade de raízes aumenta até o início do florescimento diminuindo, a partir daí, a eficiência na absorção de água (DUNCAN e BALIGAR, 1991).

### 3.5 - Respostas do crescimento da parte aérea à deficiência hídrica

Os índices fisiológicos da avaliação de crescimento é campo de estudo amplamente pesquisado por agrônomos, biólogos e ecologistas, com o propósito de avaliar o desempenho das plantas cultivadas sob condições de estresse natural ou induzido pelo homem. Dentre as variáveis estudadas na análise de crescimento, se destacam: área foliar, taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), razão de área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) (BENINCASA, 1988).

O crescimento e a acumulação de matéria seca das plantas são variáveis dependentes de fatores genéticos (O'TOOLE & BLAND, 1987), ambientais como o estado hídrico (HEBERT et al., 2001), disponibilidade de nutrientes (MARANOV et al., 1998) e textura do solo (VOS et al., 1998).

Segundo ROCHA (2001), as taxas de crescimento relativo da parte aérea, da raiz e total, em feijão-de-corda, foram influenciadas pela deficiência hídrica nos períodos de 15 a 30 e 30 a 45 dias de estresse. Em plantas de ervilha sob redução do potencial de água no solo, Aguiar Netto et al. (1995) encontraram diminuição na área foliar e ausência de respostas na razão de matéria foliar, razão de área foliar, taxa assimilatória líquida e taxa de crescimento relativo.

BARROS JUNIOR et al. (2004), em resposta à deficiência hídrica determinaram reduções na altura da planta e no diâmetro do caule de mamona. Quando as plantas foram submetidas aos tratamentos de 40 e 60% de água disponível, praticamente paralisaram o seu desenvolvimento aos 60 dias após a semeadura.

### 3.6 - Adubação química

A adubação do gergelim é um dos assuntos mais discutidos e controvertidos desta cultura, pois há resultados positivos para determinados locais e cultivares e negativos em outras situações mostrando a complexidade do meio e a grande dificuldade de se entender as relações solo, planta e atmosfera na cultura desta pedaliácea (BELTRÃO et al., 2001). Em pesquisa realizada por BELTRÃO et al., 1989, em solo Bruno Não-Cálcico com a adubação de nitrogênio e fósforo durante dois anos, com as cultivares IAC Ouro e Seridó, o gergelim apresentou aumento significativo no número de frutos por planta. PEREIRA et al. (2001), estudando níveis de adubação com esterco bovino variando de zero a 40 t /ha na

cultura do gergelim cultivar CNPA G4 em condições de sequeiro, encontraram aumento no rendimento de grãos e na altura de inserção do 1º fruto.

### 3.5.1 - Nitrogênio, Fosforo ,Potassio

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes de todo ecossistema (SUHET et al, 1988). O nitrogênio é essencial ao crescimento e à produção das plantas cultivadas sendo, na maioria dos casos, o elemento que mais causa problemas acentuados de deficiência nutricional, razão pela qual na agricultura comercial moderna, em virtude dos fertilizantes nitrogenados e da matéria orgânica apresentarem custo relativamente baixo, grandes quantidades desses insumos são adicionadas ao solo constituindo-se fonte potencial de poluição ambiental. Para que este problema regrida é necessário que os agricultores usem os adubos nitrogenados e orgânicos em quantidades que, ao mesmo tempo, aumentem a produtividade das culturas e diminuam, ao mínimo possível, os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$  no solo (ÜNLÜ et al., 1999).

Entre os elementos principais à nutrição das plantas o nitrogênio tem grande significado. A parte aérea das plantas herbáceas contém, em média, 2 a 4% de nitrogênio; as folhas de árvores decíduas contém 1,5 a 3% de N; as acículas e folhas esclerófilas esglobosa entre 1 e 2% de N, os ramos e raízes contém 0,5 a 1% de N, as algas planctônicas apresentam de 5 a 8% de N e as proteínas apresentam entre 15 a 19% de nitrogênio (Larcher, 2000).

Em ecossistemas florestais o nitrato e o amônio são as fontes mais abundantes de nitrogênio disponíveis às raízes das plantas. O teor total de nitrato e amônio, assim como a relação entre as duas fontes, dependem da qualidade e da quantidade do nitrogênio adicionado e do balanço dos processos de amonificação, nitrificação, imobilização e denitrificação que ocorrem no solo. O nitrato é a fonte predominante nos solos com pH neutro e boa aeração, geralmente usados para agricultura enquanto o amônio desempenha papel significativo em solos florestais. A magnitude do amônio como fonte de N para as árvores aumenta em regiões adjacentes às áreas com agricultura intensiva, cujas culturas florestais são expostas a um incremento de  $\text{NH}_4^+$  proveniente da atmosfera (LARCHER, 2000).

Frequentemente, a disponibilidade do nitrogênio inorgânico no solo é fator limitante ao crescimento das plantas. O nitrato é a forma mais comumente usada pelas plantas, exceto em solos em que a nitrificação é baixa e o amônio predomina; apto à absorção pela célula, o

nitrito é reduzido a amônio, antes de ser incorporado a compostos nitrogenados (CÁNOVAS et al, 1998).

### **3.6 - Adubação Orgânica**

Segundo KIEHL (1985), a expressão popular no meio agrícola de que “a matéria orgânica aduba o solo e a planta”, provém da sua influência sobre as propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas do solo, revertendo tudo no aumento da produção. A matéria orgânica, segundo o autor, se constitui em importante fonte de nutrientes para as plantas, sobretudo nitrogênio, fósforo, enxofre e micronutrientes. É oportuno saber que a eficiência da adubação orgânica, qualquer que seja a fonte utilizada, depende do conhecimento sobre a sua transformação, o destino e a interação de seus subprodutos e as principais mudanças causadas no solo.

O gergelim é considerado planta esgotante do solo pois, segundo BELTRÃO (1994) para cada 1000 kg de semente produzida são extraídos do solo, em média, 30 kg de nitrogênio, 40 kg de fósforo e 40 kg de potássio. A matéria orgânica no solo exerce funções importantes como fornecimento de macro e micronutrientes, correção de toxidez, melhorador e condicionador das características físico-químicas e biológicas. A matéria orgânica atua diretamente na biologia do solo constituindo fonte de energia e de nutrientes para os organismos que participam de seu ciclo biológico (KIEHL, 1985).

De acordo com JACOB & UEXKÜLL, citados por GOMES (1988), a maior parte dos adubos de origem orgânica (animal ou planta) conta com vários nutrientes, particularmente nitrogênio e fósforo, além de pequenas quantidades de potássio e elementos raros, embora em concentrações muito inferiores às dos adubos inorgânicos.

A matéria orgânica no solo melhora várias propriedades físicas: aumenta a porosidade, facilita a infiltração e retenção de água, diminui a suscetibilidade à erosão, melhora a drenagem e dificulta as variações de temperatura. Em relação às características químicas, influencia a dinâmica dos nutrientes, liberando-os gradualmente, melhorando sua retenção e absorção e reduzindo a toxidez do alumínio (MEDEIROS et al., 1996).

### 3.7 - O Biossólido como Fertilizante

O lodo de esgoto ou biossólido, é o produto resultante do tratamento das águas residuárias oriundas de indústrias e residências, feito pelas Estações de Tratamento de Água (ETA's); produzido intermitentemente e de forma cumulativa, este material tem sido considerado um problema para os sistemas que operam o esgoto, sobretudo por suas quantidade e características indesejáveis, a saber odores desagradáveis; presença de microrganismos patogênicos; elementos tóxicos de origem orgânica ou mineral e material de difícil desidratação.

O principal objetivo do tratamento de esgotos é proteger, de maneira econômica e socialmente aceitável, o meio ambiente e a saúde pública (METCALF & EDDY, 1991; citados por CORRÊA, et al. 2000). A utilização benéfica de resíduos se encontra entre uma das prioridades do manejo de resíduos, em todo o mundo (EPSTEIN, 1997).

Dentre as alternativas existentes para a redução da quantidade do lodo de esgoto produzido, se acha a reciclagem agrícola que, segundo PEDROSA (2002) é convertido em um produto útil ao processo produtivo, mantendo a reciclagem de elementos que o compõem.

As principais vantagens dos biossólido, são: baixos custos; utilizam o solo como meio favorável ao consumo à carga orgânica potencialmente poluidora; podem trazer os benefícios inerentes à matéria orgânica (melhoria da estrutura do solo, aumento da CTC e do fornecimento dos nutrientes e redução da acidez, do alumínio e manganês tóxico do solo); e proporcionam a reciclagem de nutrientes (OLIVEIRA, 2000, citado por PEDROSA, 2002).

Dentre as alternativas para a redução da quantidade do lodo de esgoto se encontra a reciclagem agrícola através da qual, segundo PEDROSA (2002), ele convertido em produto útil ao processo produtivo, mantendo a reciclagem dos elementos que o compõem.

Tem-se se demonstrado, em diversos trabalhos, aumentos na produção de matéria seca e grãos por espécies de interesse agrônômico cultivadas em solos tratados com lodo de esgoto (DEFELIPO et al., 1991; DA ROS et al., 1993; BERTON et al. 1997). Em alguns casos os aumentos são equiparáveis ou superiores aos obtidos com a adubação mineral recomendada para as culturas (DA ROS et al. 1993; SILVA et al, 2001).

Os resultados aqui obtidos, permitem inferir que a cultura do gergelim se constitui em uma das alternativas de exploração agrícola para as condições edafoclimáticas do semi-árido paraibano, em virtude da sua capacidade em tolerar o déficit hídrico, quando se

evidenciou que ela apresentou comportamento vegetativo e produtivo a 60% da capacidade de campo (estresse hídrico de 40%) de forma similar ao tratamento com 100% da CC (estresse hídrico 0%); ressalta-se que, nesta região, poucas são as espécies vegetais que se adaptam às suas condições, em função principalmente das baixas e irregulares precipitações pluviais.

Em termos das necessidades hídricas do gergelim, raras são as pesquisas existentes na literatura nacional, devido ao fato da cultura ainda não ser produzida no Brasil em escala comercial (BELTRÃO et al. 2001).

OLIVEIRA (2000), citado por PEDROSA (2002), afirma que as principais vantagens da utilização do lodo de esgoto na agricultura, são: apresenta baixos custos; utiliza o solo como meio favorável ao consumo de carga orgânica potencialmente poluidora; pode trazer os benefícios inerentes à matéria orgânica e proporciona a reciclagem de nutrientes. Segundo NEIVA (1999), citado por PEDROSA (2002), os principais países que utilizam o lodo de esgoto, são: França, Dinamarca, Espanha e Reino Unido.

Ao trabalhar com a adubação do algodoeiro em condições de casa de vegetação em dois experimentos seguidos, PEDROSA (2002) apresenta, na Tabela 2 a análise química do lodo por ele utilizado, produzido a partir das águas residuárias da cidade de Campina Grande.

**Tabela 1** - Composição física e química parcial do lodo de esgoto digerido PEDROZA, 2002.

Exper./Composição	Sol.	Umidade (%)	pH H <sub>2</sub> O	M.O. (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
	Total (%)								
Experimento I	16,48	83,52	6,6	52,42	3,85	1,78	0,38	3,42	0,97
Experimento II	12,26	87,54	6,7	49,66	4,13	2,28	0,46	1,44	2,03

Análises realizadas no Laboratório de Análises Químicas, Físicas e Microbiológicas do PROSAB – Campina Grande, PB, 2002

SILVA, 2002, et al., ao trabalharem com a vermicompostagem de diversas composições de lodo de esgoto com bagaço de cana-de-açúcar, concluíram que os vermicompostos produzidos apresentaram características químicas, tais como conteúdo de matéria orgânica, relação C/N, concentração de nitrogênio e fósforo favoráveis, que

indicam a possibilidade do uso desses materiais como adubo orgânico em face do valor fertilizante que apresentam; uma desvantagem, porém, da utilização de lodo de esgoto como adubo, é a presença de metais pesados, os quais se podem acumular no tecido vegetal das plantas e no solo, se forem procedidas sucessivas aplicações desse adubo em uma mesma área.

Uma outra desvantagem do uso agrícola do lodo de esgoto é a presença de patógenos oriundos do esgoto, sobretudo residencial, mas a redução desses agentes maléficos à saúde é apreciável quando o lodo é digerido por bactérias contidas nele próprio (DEAN & SMITH, 1973).

PEDROSA (2002) também apresenta, em seu trabalho, o resultado da análise química de metais pesados contidos no lodo de esgoto.

De acordo com FIGUEIRÊDO et al. (2005), a água residuária possibilitou um incremento de mais de 255% na produção de algodão em pluma, para a cultivar BRS Marrom e de 370% para a cultura BRS Verde. De maneira geral, para as duas cultivares testadas a água residuária elevou todas as variáveis geras, para as duas cultivares testadas a água residuária elevou toda as variáveis mensuradas e o biossólido foi inferior que a água residuária, na produção da planta do algodoeiro.

Em mamoneiro, NASCIMENTO et al. (2004) verificaram que as unidades experimentais irrigadas com água residuária superam as irrigadas com água de abastecimento, em todas as variáveis analisadas; já as doses de biossólidos aplicados não foram suficientes para elevar a produção aos níveis encontrados em plantios da região Nordeste.

SANTOS et al (2006), usando água residuária e adubada com biossólido em um solo salino, constataram que as diferentes doses de biossólidos não influenciaram significativamente as concentrações de cátions e ânions; entretanto, o maior valor para a relação de adsorção de sódio (RAS) e para a percentagem de sódio trocável (PST) no solo, foi observado com o uso da água residuária e a dose de biossólido de 75 kg ha<sup>-1</sup> de n.

PEDROZA et al. (2005), utilizando doses de lodo na cultura do algodão, constataram que as doses de biossólidos equivalentes a 302, 298, 365, 276, 280, 295 e 290 kg/N/ha foram aquelas responsáveis pelo número máximo de peso de algodão em caroço, peso de pluma, número da capulhos/planta, fitomassa da parte aérea, fitomassa de raiz, fitomassa total e peso de 1 capulho, respectivamente, o que permite afirmar que a região factível de produção dessas variáveis se situa entre as doses 276 e 365 kg N ha<sup>-1</sup>.

FIGUEREDO et al (2006), verificaram que a dos 30 aos 90 dias (grande período de crescimento do algodoeiro) área foliar sofreu um incremento de mais de 100% em virtude da água residuária com relação ao efeito médio da água de abastecimento.

PEDROZA et al (2003) afirmaram que a planta do algodoeiro herbáceo representada pela cultura BRS 8h, respondeu favoravelmente à aplicação de biossólido uma vez que, com exceção das variáveis peso de capulho e porcentagem de fibra, ocorreu efeito significativo das doses de biossólido sobre as demais variáveis relacionadas à produção e componentes do algodoeiro.

**Tabela 2** - Teores de metais pesados ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) no solo, no lodo digerido e no biossólido utilizados na pesquisa de PEDROSA (2002)

Material/Metal	B	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mg	Pb
Solo	<200	<0,48	<2,5	1,5	0,6	<0,1	108	<8,4
Lodo Digerido	<200	1,2	<12	112	162	0,6	3606	84
Biossólido	<200	0,71	<18	26	0,4	0,9	46	37

Resultados fornecidos pelo Laboratório de Análises Mineraias da Empresa de Proteção Ambiental (CETEL) de Camaçari, BA.

Tem-se encontrado, em diversos trabalhos, aumentos na produção de matéria seca e grãos por espécies de interesse agrônômico, cultivadas em solos tratados com lodo de esgoto (DEFELIPO et al., 1991; DA ROS et al., 1993; BERTON et al. 1997). Em alguns casos, os aumentos são equiparáveis ou superiores aos obtidos com a adubação mineral recomendada para a cultura (DA ROS et al. 1993; SILVA et al, 2001).

Um aspecto crucial do uso agrícola do lodo de esgoto está associado ao seu papel de condicionador de solos, função principalmente do conteúdo orgânico do resíduo. Embora a matéria orgânica em solos minerais represente menos de 5 % dos componentes sólidos (SILVA et al., 2000) ela é responsável por cerca de 70 a 80 % da capacidade de troca catiônica (CTC) em solos tropicais (Raij, 1969). Lodos de esgoto são fontes de C orgânico para o solo e podem incrementar a CTC (MELO et al., 1994).

## 4 - MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 – Implantação do Projeto e Delineamento Experimental

O ensaio foi instalado na Universidade Federal de Campina Grande, em área protegida, localizada a 7° 15'18" S e 35° 52'28" W na altitude de 552 metros acima do nível do mar.

O delineamento experimental aplicado foi o de Esquema Inteiramente Casualizado, fatorial 4 x 2 com 4 repetições, perfazendo o total de 32 parcelas experimentais. Os fatores foram:

FATOR A: Variação do turno de rega determinado pelo coeficiente de depleção

- CD<sub>1</sub> – coeficiente de depleção de 0%
- CD<sub>2</sub> – coeficiente de depleção de 20%
- CD<sub>3</sub> – coeficiente de depleção de 40%
- CD<sub>4</sub> – coeficiente de depleção de 60%.

FATOR B: Aplicação de dois tipos diferentes de adubação nitrogenada

- AB – adubação com bio sólido, na dosagem de 1375 kg.ha<sup>-1</sup>
- AM – adubação mineral com uréia, na dosagem de 125 kg.ha<sup>-1</sup>.

Considerando-se as combinações desses dois fatores tem-se, abaixo, os 8 tratamentos citados:

Tabela 5 - Relação do 8 tratamentos

Nº	Tratamentos	Nº	Tratamentos
1	ABCD <sub>1</sub>	5	AMCD <sub>1</sub>
2	ABCD <sub>2</sub>	6	AMCD <sub>2</sub>
3	ABCD <sub>3</sub>	7	AMCD <sub>3</sub>
4	ABCD <sub>4</sub>	8	AMCD <sub>4</sub>

FIGLIANO (2002) recomenda, para experimentos em casa de vegetação, que as unidades experimentais sejam móveis, visto que deverão ser mudadas de posição em períodos regulares, para diminuir ainda mais o favorecimento de alguns tratamentos em

detrimento de outros. Segundo o autor e mesmo em condições de estufa, alguns fatores podem ser diferentes em seu interior, de um lugar para outro, como insolação, ventilação e temperatura, em algumas horas do dia.

Considerando-se este aspecto, o sorteio de casualização para o posicionamento das 32 parcelas experimentais em 2 filas na estufa, foi realizado 3 vezes, em que cada um foi colocado em prática ao longo de todo o período da experimentação.

Na Tabela 3 se encontram os 32 tratamentos casualizados

**Tabela 3** - Relação dos 32 tratamentos casualizados.

Nº	Tratamento	Nº	Tratamento
1	AMCD <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	17	AMCD <sub>4</sub> R <sub>3</sub>
2	ABCD <sub>4</sub> R <sub>4</sub>	18	AMCD <sub>3</sub> R <sub>4</sub>
3	ABCD <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	19	AMCD <sub>3</sub> R <sub>2</sub>
4	AMCD <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	20	ABCD <sub>3</sub> R <sub>4</sub>
5	ABCD <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	21	AMCD <sub>1</sub> R <sub>4</sub>
6	AMCD <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	22	ABCD <sub>4</sub> R <sub>1</sub>
7	ABCD <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	23	ABCD <sub>2</sub> R <sub>3</sub>
8	ABCD <sub>4</sub> R <sub>3</sub>	24	ABCD <sub>3</sub> R <sub>2</sub>
9	AMCD <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	25	ABCD <sub>2</sub> R <sub>4</sub>
10	AMCD <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	26	ABCD <sub>4</sub> R <sub>2</sub>
11	AMCD <sub>2</sub> R <sub>4</sub>	27	ABCD <sub>2</sub> R <sub>1</sub>
12	ABCD <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	28	AMCD <sub>3</sub> R <sub>3</sub>
13	ABCD <sub>1</sub> R <sub>4</sub>	29	AMCD <sub>4</sub> R <sub>1</sub>
14	AMCD <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	30	ABCD <sub>1</sub> R <sub>1</sub>
15	AMCD <sub>4</sub> R <sub>2</sub>	31	AMCD <sub>4</sub> R <sub>4</sub>

#### 4.2 - Material Genético

A cultivar foi a CNPA G4 (BRS 196) foi a mais resistente à mancha angular e à murcha de macrofomina. Esta cultivar é adaptada às condições de cultivo da região Nordeste e dos Cerrados; suas plantas apresentam haste de cor verde, ausência de pelo nas

folhas e nas hastes, porte mediano, 155 cm, ciclo precoce de 90 dias, além de crescimento ramificado, floração e maturação uniformes, com sementes de coloração creme, um fruto por axila foliar, teor de óleo de 48 a 50 % e peso médio de 1000 sementes, ou seja 3,10 g.

#### 4.3 - Determinação do Plano de Irrigação

Para a realização do cálculo de irrigação, BERNARDO (2006) leva em consideração a disponibilidade total de água do solo (DTA). A DTA indica a quantidade máxima de água que um solo é capaz de reter e, sendo assim, esta variável depende não só das propriedades do solo mas também como de sua capacidade de campo, de seu ponto de murcha permanente e da sua densidade aparente; inicialmente Bernardo (1985) apresenta, a seguinte relação:

$$DTA = \frac{(C_c - P_m)}{10} x D_a \quad \text{(Equação 1)}$$

donde:

DTA - Disponibilidade de água no solo, em  $\text{g.cm}^{-3}$

$C_c$  - Capacidade de campo, % em peso

$P_m$  - Ponto de murcha permanente, % em peso

$D_a$  - Densidade aparente do solo, em  $\text{g.cm}^{-3}$

Ou:

$$V = (C_c - P_m) x D_a \quad \text{(Equação 2)}$$

em que:

$V = \text{m}^3$  de água disponível por hectare em cada centímetro de profundidade do solo.

A aplicação da quantidade de água correspondente à DTA implicará, sem dúvida, em que o solo estará sempre em capacidade de campo resultando em limitações hídricas; introduz-se, então, o conceito da disponibilidade real de água do solo (DRA) que é calculada por:

$$DRA = DTA x f \quad \text{(Equação 3)}$$

em que:

$f$  é o fator de disponibilidade que será sempre menor que 1



BERNARDO (1985) recomenda que se adotem  $f = 0,7$  para plantas resistentes ao estresse hídrico e  $f = 0,3$  para plantas sensíveis ao estresse; desta forma, para a quantidade de água necessária para a cultura deve-se levar em consideração a profundidade do solo, correspondente à profundidade média do sistema radicular da cultura a ser irrigada.

BELTRÃO et al. 2001, afirmam que o sistema radicular do gergelim pode atingir até 1,20 m de profundidade, como nas condições experimentais da casa de vegetação, com a utilização de vasos; esta profundidade dificilmente é disponível mas considerada, em geral, comprimento efetivo do sistema radicular das raízes a profundidade do vaso a ser utilizado.

O controle das irrigações foi feito tendo em vista o peso de cada vaso. Realizou-se, antes de início das irrigações, um experimento, para determinação da curva característica da umidade do solo versus peso da unidade experimental; obteve-se a curva de umidade saturando-se o solo contido em um dos vasos, com volume de água conhecido e se coletando a água drenada; desta forma se tem a idéia da quantidade de água retida no solo, após a drenagem, ou seja, quando o solo estava em capacidade de campo; com o passar do tempo, a água foi sendo perdida por evaporação (e posteriormente pela absorção e transpiração das plantas). Amostras deste solo foram coletadas, determinado o peso do vaso equivalente a cada amostra e a sua umidade correspondente obtendo-se, então, um par ordenado do tipo: (peso do vaso, umidade do solo).

Com um conjunto de pares ordenados realizaram-se a análise de regressão e correlação dos dados, para se determinar a equação que melhor representasse a relação entre o peso do vaso e a umidade do solo; obtida esta curva, estimou-se o peso do vaso, equivalente a 20, 40 e 60% da depleção; deste modo, os vasos eram pesados constantemente e uma nova irrigação só era realizada quando o vaso submetido a um tratamento alcançava o peso equivalente ao seu coeficiente de depleção.

#### **4.4 - Determinação do Plano de Adubação**

Calcularam-se as quantidades totais dos fertilizantes escolhidos para o fósforo e o potássio (fósforo natural e o cloreto de potássio) com base nos dados da análise química do solo e conforme sugestões de IPA (1998) & BELTRÃO et al. (2001). A Tabela 6 mostra as quantidades totais dos respectivos adubos para cada unidade experimental.

**Tabela 6 - Quantidades totais (g) de adubo em cada unidade experimental AB e AM**

Tratamento	Lodo	Uréia	Super Simples	Cloreto de Potássio
AB	12,5	-	2	0,3
AM	-	1	2	0,3

#### 4.5 - Implantação do Projeto, Condução do Experimento e Controle da Irrigação

Colocaram-se, após a análise química do solo, 30 kg de solo franco arenoso (massame) em cada vaso e se fez a adubação com NPK, conforme o quadro de adubação da Tabela 6; em seguida, as unidades experimentais foram posicionadas de modo casualizado em banquetas no ambiente protegido; de início, todas as unidades experimentais foram pesadas e receberam uma quantidade de água, em peso, suficiente para deixar o solo em capacidade de campo (CC), procedimento este realizado durante 10 dias após a semeadura, para que ocorresse germinação completa.

Para se calcular os teores de umidade do solo em cada tratamento determinou-se o peso crítico de cada vaso correspondente aos diferentes coeficientes de depleção e, uma vez feita a irrigação, as pesagens diárias foram efetuadas e os peso, hora e data foram anotados em planilha; cada tratamento era irrigado novamente, quando a amostra atingia o peso correspondente à disponibilidade crítica de água para aquele tratamento. No plantio se utilizaram 15 sementes por vaso, 0,5 cm de profundidade; após a germinação se realizou um desbaste, permanecendo apenas 4 plantas em cada vaso colelendo-se, a cada 30 dias, uma planta, para determinação do peso seco da raiz e da parte aérea.

#### 4.6 - Coleta de dados

Quinzenalmente se realizava a coleta de dados, com início 15 dias após, a germinação completa. As variáveis coletadas são: diâmetro do caule; altura da planta; área foliar; início da floração; início da produção de frutos; massa seca das raízes e da parte aérea da planta e produção.

A partir dos dados de comprimento e maior largura da folha, determinou-se a área foliar através da equação proposta por SILVA (2001, et.al.).

$$S = \phi \times C \times L \quad (\text{Equação 13})$$

donde:

S é a área foliar, cm<sup>2</sup>

$\phi$  é o fator de área foliar para a cultura (0,70)

C é o comprimento transversal da folha, em cm<sup>2</sup>

L é a maior largura da folha, em cm<sup>2</sup>

#### 4.7 - Análise dos dados coletados

Os dados foram submetidos a Análise de Variância seguida do Teste “F”, a níveis de 5 e 1 % de probabilidade enquanto as médias dos tratamentos nas quais se verificou efeito significativo foram comparadas pelo Teste de Tukey. Por sua vez, os dados de número de folhas, flores e frutos, matéria seca do caule, produção de frutos e sementes, foram submetidos à análise de variância e de regressão e modelos polinomiais foram testados para prever os efeitos de doses de biossólidos e adubo químico sobre as características avaliadas; enfim, o critério para escolha do modelo mais adequado foi a significância pelo teste F a 5% de probabilidade e o maior valor do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 – Altura da planta

**Tabela 7-** Resumo da análise de variância (ANOVA) dos dados de altura da planta (cm) do gergelim nos períodos 30, 45, 60, 75 e 90 DAE, em função dos tipos de adubação aplicados e dos níveis de estresse hídricos utilizados

	G.L.	Altura da Planta (cm)				
		30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE
Adubação (A)	1	0,23 ns	35,07 ns	95,57 ns	26,28 ns	15,12 ns
Estresse hídrico (E)	3	3,83 ns	1127,82 *	1508,03 **	1066,78 **	1138,75 **
Interação A x E	3	2,59 ns	587,66 ns	650,76 ns	98,86 ns	105,21 ns
Resíduo	24	4,96	272,42	252,31	206,16	201,21
CV	(%)	34,05	26,12	16,26	13,02	12,75

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 e 1% de probabilidade

Verificou-se, de acordo com os dados da Tabela 7, que não houve diferenças significativas para a altura de planta de gergelim ao longo do seu ciclo, em função dos níveis de estresse hídrico, embora tenha ocorrido tendência para aumento da estatura da planta até 40% de estresse hídrico; observou-se que as plantas de gergelim tiveram maior incremento no crescimento vegetativo, entre os 30 a 45 dias após emergência.

Mediante esses resultados, diz-se que a cultura do gergelim é tolerante ao estresse hídrico uma vez que nos diferentes níveis de estresse hídrico até supressão de 60% da água não houve diminuição no desenvolvimento da altura das plantas, na comparação com o tratamento sem estresse hídrico devido, provavelmente, ao fato da planta de gergelim possuir resistência estomática bastante elevada fazendo com que a transpiração seja reduzida nos períodos de deficiência hídrica no solo mantendo, assim, o teor de água, capacitando-a a tolerar mais a seca.

SOUZA et al (2000) obtiveram resultados diferenciados dos alcançados neste trabalho ao observarem redução da altura das plantas quantificadas aos 48, 68, 85 e 98 dias após semeadura, com decréscimo de 33,73% aos 98 dias após semeadura e 16 dias de suspensão da irrigação.

## 5.2 - Diâmetro do Caule

**Tabela 8-** Resumo da análise de variância (ANOVA) dos dados do diâmetro caulinar (mm) da planta do gergelim nos períodos 30, 45, 60, 75 e 90 DAE, em função dos tipos de adubação aplicados e dos níveis de estresse hídricos utilizados

	Diâmetro caulinar (mm)					
	G.L.	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE
Adubação (A)	1	0,50 ns	1,57 ns	0,01 *	0,01 ns	0,01 *
Estresse hídrico (E)	3	1,00 ns	18,40 **	18,41 *	13,69 *	13,80 *
Interação A x E	3	0,12 ns	6,85 ns	4,10 ns	2,56 ns	3,07 ns
Resíduo	24	0,51	3,56	3,97	3,68	3,66
CV	(%)	22,01	20,79	21,25	19,94	19,81



Com base nos resultados da Tabela 8, verificou-se que a média do diâmetro do caule não diferiu estatisticamente ao longo do ciclo da cultura do gergelim, em função dos níveis de estresse hídrico, embora tenha havido ligeira tendência para aumento do diâmetro do caule até 40% de estresse hídrico, ocorrendo redução a partir daí; notou-se, também, um incremento no diâmetro do caule entre os 30 e 45 DAE.

Constatou-se, no tratamento sem estresse hídrico na Tabela 8 que, o crescimento em diâmetro do caule das plantas de gergelim foi menor em virtude, sem dúvida, da saturação dos macro e microporos do solo, reduzindo a aeração e inibindo o desenvolvimento do sistema radicular, com reflexos negativos sobre o desenvolvimento da cultura.

### 5.3 – Área Foliar

**Tabela 9-** Resumo da análise de variância (ANOVA) dos dados de área foliar (cm<sup>2</sup>) da planta do gergelim nos períodos 30, 45, 60, 75 e 90 DAE, em função dos tipos de adubação aplicados e dos níveis de estresse hídricos utilizados

	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )					
	G.L.	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE
Adubação (A)	1	0,37 ns	0,01 ns	0,02 ns	0,02 ns	0,07 ns
Estresse hídrico (E)	3	0,17 ns	0,82 ns	0,98 *	0,87 *	0,16 ns
Interação A x E	3	0,26 ns	0,14 ns	0,15 ns	0,10ns	0,67 *
Resíduo	24	0,92	0,30	0,29	0,29	0,19
CV	(%)	21,02	8,88	8,48	8,84	7,50

Não se constatou, de acordo com os dados da Tabela 9, que não houve diferenças significativas para a área foliar das plantas, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do gergelim, em função dos níveis de estresse hídrico, embora tenha havido ligeira tendência para aumento da área foliar das plantas até 60% de estresse hídrico (40% de umidade disponível), caracterizando ser a cultura sensível a médios e altos níveis de umidade no solo; mas se notou, também, que a área foliar das plantas aumentou até os 60 DAE em que, a partir daí, ocorreu redução gradual no seu tamanho até se estabilizar aos 90 DAE; este fato se deu em decorrência da maior senescência das folhas e menor emissão de folhas novas verificadas no período na fase de maturação fisiológica da cultura.

#### 5.4 - Massa seca da parte aérea (MSA)

**Tabela 10** - Resumo da análise de variância (ANOVA) dos dados da massa seca da parte aérea (MSA), em gramas, da planta do gergelim, em função dos tipos de adubação aplicados e dos níveis de estresse hídricos utilizados.

	G.L.	Massa Seca da Parte Aérea (g)				
		30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE
Adubação (A)	1	1,53A	1,60a	1,67b	1,86b	2,96b
Estresse hídrico (E)	3	1,55a	1,62a	1,76b	2,02b	2,99b
Interação A x E	3	1,56a	1,63a	1,85ab	2,20ab	3,33 <sup>a</sup>
Resíduo	24	1,56a	1,66a	2,05a	2,59a	3,40ab
CV	(%)	1,55	1,63	1,83	2,17	3,17

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 e 1% de probabilidade.

Não se observou, através dos dados da Tabela 10, diferença significativa a nível de 5% de probabilidade pelo teste F, para a matéria seca da parte aérea (MSPA) da cultura do gergelim aos 30 e 45 DAE mas, sim, diferença estatística para esta variável aos 60, 75 e 90 DAE, em função dos níveis de estresse hídrico. Verificou-se, nos três últimos estádios de desenvolvimento, um aumento na MSPA, sempre que diminuiu a quantidade de água aplicada cujos maiores valores ocorreram nos tratamentos em que houve supressão de 40 e 60% de água (60 e 40% de água disponível no solo), notando-se mediante esses dados, que a cultura do gergelim suporta níveis de médio a alto de estresse hídrico no solo no qual, em condições de menor disponibilidade de água, ocorreu a maior produção de MSPA, quando comparado com o tratamento com substrato, mantida a umidade na capacidade de campo; isto se deu em decorrência da capacidade fisiológica da cultura em se adaptar à baixa disponibilidade de água no solo promovendo o crescimento vegetativo e produtivo relativamente bem nas condições adversas de baixo teor de umidade no solo, sendo capaz de promover maior produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, de matéria seca da parte aérea, nos níveis mais altos de supressão de água.

Em culturas como algodão, mamona e gergelim, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de verificar os efeitos do estresse hídrico no metabolismo, em especial em enzimas de elevada importância e suas respostas à produção de fotoassimilados e, sem dúvida, de matéria seca da parte aérea (SOUZA et al. 1997, SOUZA et al. 2000 e BELTRÃO et al. 2001).

### 5.5 - Matéria seca da raiz

Segundo os resultados da Tabela 11, não se constatou diferenças significativas para a matéria seca da raiz (MSR), aos 90 DAE, em função dos níveis de estresse hídrico, apesar de ligeira tendência para aumento da MSR até 60% de estresse hídrico.

**Tabela 11** - Média de matéria seca da raiz (g) em função de estresse hídrico Campina Grande, PB, 2007.

Estresse hídrico	Matéria seca da raiz (g)
0%	6,2312 a
20%	6,5087 a
40%	6,7712 a
60%	6,9300 a
Média	6,80
DMS	1,0458
CV	11,15

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 e 1% de probabilidade.

### 5.6 - Efeito dos adubos quanto a: altura de planta, diâmetro do caule, área foliar, matéria seca da parte aérea e da raiz

As análises de variância indicaram que não houve diferença estatística significativa a 5% de probabilidade pelo Teste F, do efeito das diferentes fontes de nitrogênio aplicadas sobre as variáveis estudadas.

Com relação aos adubos orgânicos os resultados permitem afirmar que os biossólidos apresentaram comportamento similar ao da uréia, como fonte nutricional, uma vez que tanto os componentes de crescimento como os de produção da cultura do gergelim mostraram os mesmos resultados; infere-se, com base nesses dados, que a adubação química pode ser substituída por biossólido, já que são produtos resultantes do tratamento das águas residuárias oriundas de indústrias e residências, tratadas pelas Estações de Tratamento de Água (ETA's), cujo principal objetivo é proteger, de maneira econômica e

socialmente aceitável, o meio ambiente e a saúde pública (METCALF & EDDY, 1991, citados por CORRÊA, et al. 2000).

**Tabela 12** - Médias de altura de planta (cm) em função de adubos Campina Grande, PB 2007.

Estresse hídrico	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE
Adubo químico	6.62 a	56.43 a	90.34 a	105.69 a	109.437 a
Biossólido	6.45 a	60.19 a	96.11 a	113.12 a	115.25 a
Média	6.54	58,31	93.23	109,41	112,34
DMS1	1.62560	17.51621	17.01465	13.69054	14.61349
CV	34,06	26,58	25,00	17,14	17,82

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 e 1% de probabilidade.

**Tabela 13** - Médias de diâmetro do caule (mm) em função de adubos Campina Grande, PB. 2007

Estresse hídrico	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE
Adubo químico	3.38 a	3.38	9.37 a	9.631 a	9.64 a
Biossólido	3.13 a	3.13 a	9.38 a	9.60 a	9.66 a
Média	3,26	9,07	9,38	9,61	9,65
DMS1	0.52324	0.52324	1.45495	1.39961	1.39572
CV	22,01	20,78	21,25	19,94	19,81

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 e 1% de probabilidade.

Notou-se, com relação à matéria seca do caule, que nos tratamentos nos quais ocorreu supressão de 20 e 40 da água a produção de matéria seca do caule por planta foi maior em comparação com o nível de capacidade de campo, cujo nível do tratamento não diferiu embora tenha havido redução de 60% da água disponível no solo (Tabela 14).

A maior produção de matéria seca do caule por planta de gergelim foi de 13,71 gramas, obtida sob estresse hídrico de 35,11%, ou seja, em nível de umidade de água no solo de 64,89% constatando-se, a partir daí, decréscimo na produção de matéria seca do caule das plantas de gergelim.

**Tabela 14 - Médias de matéria seca da parte aérea em função de adubos Campina Grande, PB. 2007**

Estresse hídrico	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE	90 DAE
Adubo químico	1,54 a	1,61 a	1,79a	2,11 a	3,10 a
Biossólido	1,52 a	1,65 a	1,86 a	2,22 a	3,14 a
Média	1,55	1,63	1,83	2,17	3,17
DMS1	0,0267	0.07174	0.10513	0.20862	0.17604
CV	18,56	17,63	16,89	18,71	14,66

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5 e 1% de probabilidade.

### **5.7 - Número de folhas, flores e frutos, matéria seca do caule (g) e produção de frutos e semente por planta.**

Constatou-se, de acordo com os dados da Tabela 15, houve diferença significativa a nível de 5% de probabilidade pelo teste F, para os componentes de produção analisados da cultura do gergelim enquanto nos níveis de estresse de 20, 40 e 60% ocorreu maior produção em número de folhas, flores e frutos em relação ao tratamento que recebeu 100% de água na capacidade de campo.

Em referência ao número de folhas/planta de gergelim, notou-se aumento na quantidade de folhas por planta, até 116 folhas, alcançado sob estresse hídrico de 39,96%, ou seja, com 60,04% de água disponível no solo ocorrendo, a partir daí, diminuição no número de folhas emitidas pelas plantas de gergelim nos níveis mais altos de estresse hídrico.

A maior quantidade de frutos por planta de gergelim foi de 94 frutos, alcançada com estresse hídrico de 38,77%, ou seja, 61,23% de umidade disponível no solo; a partir daqui, deu-se decréscimo no número de frutos emitidos pelas plantas de gergelim até os níveis de maior estresse.

Em termos de produção de frutos e grãos por planta, os melhores resultados foram alcançados nos tratamentos 20, 40 e 60% de supressão de água, isto é, quando o solo permaneceu com 80, 60 e 40% de água disponível (Tabela 15). Por outro lado, a maior produção de frutos por planta de gergelim foi de 14,02 gramas, obtida sob estresse hídrico de 37,10%, isto é, no nível de umidade de água no solo de 62,90% ocorrendo, a partir de

então, decréscimo na produção de frutos/plantas de gergelim; enfim, a maior produção de grãos por planta de gergelim foi de 5,31 gramas, obtida sob estresse hídrico de 38,71%, ou seja, no nível de umidade de água no solo de 61,29% ocasionando, daí, decréscimo na produção de grãos/ plantas de gergelim.

SOUSA et al (2000) obtiveram resultados diferenciados dos alcançados neste trabalho ao observarem que o número de cápsulas por planta (frutos + sementes) não foi afetado pelo estresse e, embora o gergelim seja uma das plantas tolerantes a seca, maiores produtividades de frutos e sementes serão obtidas quando a cultura for conduzida em condições hídricas favoráveis, em que o processo fotossintético e a assimilação líquida funcionem plenamente; a resistência estomática nas plantas é importante para ser usada nos períodos críticos de água porém a produção plena dos assimilados só será possível em condições de altas taxas fotossintéticas, o que demanda transpiração e consumo de água.

A máxima quantidade de flores por planta de gergelim estimada foi obtida na Tabela 15, com estresse hídrico de 49,24%, ou seja, com 50,76 % de umidade disponível no solo, ocorrendo, a partir desse índice, redução no número de flores emitidas pelas plantas de gergelim até os maiores níveis de estresse.

**Tabela 15.** Médias de número de folhas, flores e frutos, matéria seca do caule (g) e produção de frutos e sementes por planta em função de estresse hídrico Campina Grande, PB, 2007

Estresse hídrico	Nº Folhas/ Planta	Nº Flores/ planta	Nº de frutos/ Planta	Matéria seca do caule (g)	Produção/Planta (g)	
					Fruto	Semente
0%	68,10 b	8,00 b	33,50 b	8,87 b	8,54 b	2,26 b
20%	108,90 a	14,90 a	78,40 a	12,51 a	13,21 a	4,87 a
40%	111,40 a	16,40 a	94,62 a	13,84 a	13,63 a	5,55 a
60%	105,80 a	17,20 a	84,60 a	11,03 ab	12,04 a	4,15 a
Média	91,05	12,62	60,27	10,812	10,71	3,46
DMS	20,17	4,4677	19,4568	2,2893	2,2497	1,0809
CV	18,30	29,23	26,67	17,49	13,75	25,81

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% e 1% de probabilidade.

## 6. CONCLUSÕES

1. A cultura do gergelim apresentou melhores componentes de produção em nível de umidade com 40% de estresse hídrico, que correspondem a 60% da capacidade de campo.
2. A adubação com biossólido apresentou efeito equivalente à adubação com uréia, em relação ao crescimento e à produção da cultura do gergelim.
3. O biossólido poderá substituir a uréia como adubação nitrogenada para o cultivo do gergelim.
4. A utilização do biossólido como fonte de N para a cultura do gergelim promove diminuição da contaminação do meio ambiente.

## 7. REFERÊNCIAS

AGUIAR NETTO, A.O.; RODRIGUES, J.D.; BASTOS, E.A.; ONO, O. E. **Desenvolvimento de plantas de ervilha (*Pisum sativum* L.), submetidas a diferentes potenciais da água no solo: Índices fisiológicos.** Scientia Agrícola, Piracicaba, v.52, n.3: 521-527, set/dez, 1995.

ARAÚJO, J.M. de; OLIVEIRA, J.M.C. de; CARTAXO, W.V.; VALE D.G.; SILVA, M. B. da. **Vamos plantar gergelim.** Campina Grande: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão. 1999. 19p.

ARRIEL, N.H.C.; VIEIRA, D.J.; FIRMINO, P. de T. **Situação atual e perspectivas da cultura do gergelim no Brasil. Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro.** Campina Grande: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, 2000. 10p.

AZEVEDO, D.M.P. de; NÓBREGA, L.B. da; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S.; BELTRÃO, N.E. de M. Manejo Cultural. In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (eds.) **O Agronegócio da mamona no Brasil.** Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2001. P.121-160.

BARROS JUNIOR, G.; GUERRA, H.O.C.; LACERDA, R.D de; CAVALCANTI, M. L.F.; BARROS, A.D. de. **Análise de crescimento da mamoneira submetida ao estresse hídrico.** Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Sustentabilidade, 23 a 26 nov, 2004a, Campina Grande, PB.

BARROS JUNIOR, G.; GUERRA, H.O.C.; LACERDA, R.D de.; CAVALCANTI, M. L.F.; BARROS, A.D. de. **Efeito do estresse hídrico sobre a emissão de inflorescências em duas cultivares de mamona.** I Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Sustentabilidade, 23 a 26 nov., 2004b, Campina Grande, PB.

BHAGSARI, A.S.; BROWN, R.H.; SCHEPERS, J.S. **Efect of moisture stress on photosynthesis and some related physiological characteristics in peanut.** Crop Science, 16: 712-5 1976.

BELTRÃO, N.E. de M.; FREIRE, E.C.; LIMA, E.F. **Cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.) no Nordeste do Brasil.** Campina Grande: EMBRAPA-CNPA (EMBRAPA-CNPA. Circular Técnica,12). 18p. 1986.

BELTRÃO, N.E. de M.; FREIRE, E.C.; LIMA, E.F. **Gergelim cultura no trópico semi-árido nordestino.** Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1994. EMBRAPA-CNPA. Circular Técnica, 18, 52 p.1994.

BELTRÃO, N.E. de M.; NÓBREGA, L.B. da; SOUZA, R.P. de; SOUZA, J.E.G. de. **Efeitos da adubação, configuração de plantio e cultivares na cultura do gergelim no Nordeste do Brasil.** Campina Grande: Embrapa Algodão PB (Embrapa Algodão. Boletim de Pesquisa, 21). 23p. 1989.

BELTRÃO, N. E. de M.; **Potencial da cultura do gergelim para a região Nordeste, em especial para o Estado da Bahia.** Bahia Agrícola, v. 4, n. 2, nov., 2001.

BELTRÃO, N.E.de M.; **O Agronegócio do Gergelim no Brasil** editores técnicos Napoleão Esberard de Macedo Beltrão; Dirceu Justiniano Vieira; EBRAPA ALGODÃO (Campina Grande, PB). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.

BELTRÃO, N. E. de M.; ARAÚJO, A.E de. **Zoneamento Agrícola.** Campina Grande: Embrapa - CNPA (Embrapa Algodão, Documentos 126). 23p, 2004.

BELTRÃO, N.E. de M.; MELO, F. de B.; CARDOSO, G.D.; SEVERINO, L.S. **Mamona: Árvore do Conhecimento e Sistema de Produção para o Semi-Árido Brasileiro.** Campina Grande: Embrapa – CNPA (Embrapa CNPA. Circular Técnica, 70). 53p, 2003.

BELTRÃO, N.E. de M; MELO F. de B.; CARDOSO, G. D.; SEVERINO, L. S. **Mamona: Árvore do Conhecimento e Sistema de Produção para o Semi-Árido Brasileiro.** Campina Grande: Embrapa – CNPA, 2003. 53p. (Embrapa CNPA. Circular Técnica, 70).

BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, J.G.L. de; SANTOS, J.W. dos; JERÔNIMO, J.F.; COSTA, F.X. Fitologia. In: AZEVEDO, D.M.P. de. **Fisiologia da mamoneira, cultivar brs 149 nordestina, na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico.** Revista Brasileira oleaginosas Fibrosas, Campina Grande, v.7, n.1, p.659-664, jan - abr. 2003.

BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, J.G.; SANTOS, W.dos.; COSTA, F.X.; LUCENA, A.M. A.; QUEIROZ, U.C. **Modificações na bioquímica da planta da mamoneira, Cultivar Brs 188 Paraguaçu, submetida ao estresse Hídrico (deficiência e excesso).** [http://www.cnpa.embrapa.br/rbof/artigos/712003003\\_rbof.7\(1\).653-658.2003.pdf](http://www.cnpa.embrapa.br/rbof/artigos/712003003_rbof.7(1).653-658.2003.pdf). Acessado em 20/11/2007.

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

BERKOWITZ, G.A. Water and salt stress. In: RAGHAVENDRA, A.S., ed. **Photosynthesis: a comprehensive treatise.** Cambridge: CAMBRIDGE UNIVERSITY, 1998. P.226-237.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação,** 6<sup>o</sup>ed. Viçosa; UFV, 657p. 1995.

BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S.; CAMARGO, O.A.; BERTAGLIA, O.C. *Peletização do lodo de esgoto e adição de CaCO<sub>3</sub> na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três Latossolos.* **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, p 389-383, 1991.

BOYER, J.S. **Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potenciasais.** Plant Physiology, 46: 233-5, 1970.

BLUM, A. **Crop responses to drought and the interpretation of adaptation.** In: **Belhassen I (ed.) Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological, and Molecular Biological Analysis.** Kluwer Academic Publ, Dordrecht, pp 57-70. ISBN 07923-4123-6, 1997.

CALBO, R.E.M.; MORAES, de V.P.A.J. **Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico.** Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.9, n.2, p.117-123, 1997.

CÁNOVAS, F.M.; CANTÓN, F.R.; GUTIÉRREZ, A.G.; GALLARDO, F.; CRESPILO, R. **Molecular physiology of glutamine and glutamate biosynthesis in developing seedlings of conifers.** Physiologia Plantarum, v. 103, p. 287-294, 1998.

CHAVES, M.M. **Effects of water stress on carbon assimilation.** Journal Experimental Botany, 42:1-16, 1991.

CORRÊA, R; STUDART, FILHO, B; de MELO; BERNARDES, RICARDO S. **Deposição de Esgoto Doméstico para Controle de Poluição e Revegetação Induzida em Área degradada.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 4, nº 2, Mai. – Ago. 2000.

DAROS, C.; CRITA, C.; CERETTA, C.A.; FRIES, M. R. **Lodo de esgoto: efeito no milho e residual na associação aveia – ervilhaca.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, v. 17, p 257 – 261, 1993.

DEFELIPO, B.V.; NOGUEIRA, A. V.; LOURDES, E. G.; ALVAREZ, Z. V. H. **Eficiência agrônômica do lodo de esgoto proveniente de uma siderúrgica.** Revista Brasileira de Ciência do solo, Campinas, v. 15, p 389 – 393 1991.

DOOREMBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades Hídricas das Culturas** – tradução de H. R. Gheyi; J. E. C. Metri; F. A. V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1997, 204 p.

DENADAI, I.A.M.; KLAR A.E. **Resistência à seca em quatro cultivares de trigo: parâmetros fisiológicos.** Scientia Agrícola, Piracicaba, v.52, n.2, p.274-281, mai./ago.,1995.

DUBÉ, P.A.; STEVENSON, K.R.; THURTELL, G.W. **Comparison between two inbred corn lines for diffusive resistances, photosynthesis and transpiration as a function of leaf water potential.** Canadian Journal Plant Science, Ottawa, v.54, p.765-70, 1974.

DUNCAN, R.R & BALIGAR, V.C. **Genetics, breeding, and physiological mechanisms of nutrient use.** Duncan, R.R. e Baligar, V.C. (Ed.). Academic Press, San Diego, p.3 -36, 1991.

EPSTEIN, L. **Cultura – Gergelim SDA DDA – SEAGRI** – Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária. Salvador .Agosto, 2000

FIGUERÊDO, I. C. de M.; BELTRÃO, N.E. de M.; LIMA, V. L. A. de; ARAÚJO, M. G. F. de; NASCIMENTO, M. B. H. de. **Uso da água residuária tratada e do biossólido no algodão colorido: produção e seus componentes.** Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.288-291, 2005.

FIGUERÊDO, I.C. de M.; LIMA, V.L.A. de; BELTRÃO, N.E. de M.; ARAÚJO, M.G.F. de.; SANTOS, T.S.; AZEVEDO, C.A.V. de.; **Influência da irrigação com água residuária e da adubação com biossólido na área foliar do algodão colorido.** V Congresso Brasileiro de Algodão. Embrapa - Algodão, Campina Grande, 2006.

FIRMINO, P. de T. **Gergelim: Sistemas de produção e seu processo de verticalização, visando a produtividade no campo e melhoria da qualidade da alimentação humana.** Campina Grande: Embrapa-CNPA, 1996. (Prêmio Jovem Cientista).

FIGUERÊDO, R.; **Metodologia de pesquisa: Como planejar, executar e escrever um trabalho científico - 2ª ed.** – João Pessoa: UFPB / Editora Universitária, 2003.

GLEEN, D.M; SCORZA, R.; BASSETT, C. **Physiological and morphological traits associated with water use efficiency in the willow-leaf peach.** Hortscience., v.35, n.7, p.1241-43, 2000.

GOMES, P. **Adubos e adubações.** 12 ed. São Paulo: Nobel, 1988. 187p.

GUCCI, R.; MATÉRIAI, R.; XILOYANNIS, C. & FLORE, J.A. **The effect of drought and vapour pressure deficit on gas exchange of young kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*) vines.** Annals of Botany, 77: 605-613 1996.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. **Adaptação do feijoeiro comum. (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.1, p.70–75, 2006.

HEBERT, Y.E.GUINGO, LOUDET. O.; **The response of root/shoot partitioning and root morphology to light reduction in maize genotypes.** Crop Science, 41: 363-371, 2001.

HOOGENBOOM, G.; HUCK, M.G.; PETERSON, C.M. **Root growth of soybean as affected by drought stress.** Agronomy Journal, Madison, v.79, p.697-614, 1987.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KRAMER, P.J.; BOYER, J. S. **Water relations of plant and soils.** Academic Press, New York, 1995.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal.** São Carlos: Rima 2000 a. 531p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal.** São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000 b.531p.

- LAWLOR, D.W. **Limitation to photosynthesis in leaves water-stressed: stomata vs. metabolism and the role of ATP.** *Annals of Botany*, 89: 871-885, 2002.
- LAWLOR, D W.; CORNIC, G. **Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants.** *Plant Cell and Environment*, v.25, p.275-294, 2002.
- LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. **Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits.** *Crop Science, Madison*, v.36, p.331-335, 1996.
- LOPES, B.F.; SETER, T. L.; McDAVID, C.R. **Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in responses to water deficit and recovery.** *Crop Science, Madison*, v. 28, p. 141-145, 1998.
- MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L.; GOMES, M.M.A. **Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranja "Valença".** *Bragantia*, v.58, p.217-226, 1999.
- MANSUR, R.J.C. N.; BARBOSA, D.C.A. **Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico.** *Phyton* 68: 97-106, 2000.
- MARANOV, A. A. SAMEDOVAM, & T. SHIRVANY. **Root-shoot relationships in plant adaptation to nitrogen deficiency.** *Develop. Plant Soil Science*, 82: 147-154, 1998.
- MAZZANI, B. **Cultivo Y mejoramiento de plantas oleaginosas.** Caracas: Salvat, 1983. p. 169-226.
- MEDEIROS, J. da C.; ESPEJO SERRANO, R.; HERNANZ MARTOS, L.J.; SANCHEZ GIRÓN, V.M.; DANIELA, L. A. **Effect of soil tillage systems on structure development in a Haploxeralf of Spain.** *Soil Tecnology*, v.11, p.197-204, 1996.
- MELO W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R. A.; LEITE, S. A. S. **Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações de matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado como cana-de-açúcar.** *Revista brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v. 18, p 449 – 445-1994.
- MONTILLA, D.; MAZZANI, B.; CEDENO,T. **Mejoramiento genético Del ajonjolí (*Sesamum indicum* L.). Resea y lagros en Venezuela.** In: II CA-BID-PROCIANDINO. VI curso corto tecnologia dela production de ajonjolí. Acarigua: B.Romakrishn, 1990.p. 1-67.
- MORAES, C. R. de A.; SEVERINO, L.S. **Influência de encharcamento do solo sobre o crescimento e desenvolvimento da mamoneira.** I Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Sustentabilidade, 23 a 26 nov., 2004b, Campina Grande, PB.

NASCIMENTO, M.B.H. do. LIMA, V. L. A. de; BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, A. P. de. **Utilização de água residuária e biossólido na cultura da mamona: componentes da produção.** I Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Sustentabilidade, 23 a 26 nov., 2004.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; SANTOS, C. R. dos, NETO, E.B, SANTOS, V.F. dos. **Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim a diferentes regimes hídricos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.33, n.12, p1963-1969, dez.1998.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; SANTOS, C.R. dos. **Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico.** Revista Brasileira Engenharia. Agrícola. Ambiental, Campina Grande, v.4, n.1, p.41-45, 2000.

OLIVEIRA, F.M.N. de; BELTRÃO, N.E. de M.; SANTOS, J.W. dos. **Características da fibra do algodoeiro herbáceo colorido marrom e de ramos curtos sob efeito do estresse hídrico.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 5, 2006. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD ROM

O'TOOLE, J.C. & W.L.BLAND. **Genotypic variation in crop plant root systems.** Advances in Agronomy, v.41, p.91-145, 1987.

PASCHOLATI, S.F. & WULFF, N.A. Doenças do gergelim (*Cindissem*). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A. M; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas.** 4ª ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. P. 379 - 384.

PEDROSA, JUAREZ PAZ **Biossólidos em Algodoeiro Herbáceo: Modificações no Crescimento, Desenvolvimento e Ambiente Edáfico,** UFCG, Campina Grande, PB (tese de doutorado), 2002. 207 p.

PEDROZA, J. P.; VAN HAANDEL, A. C.; BELTRÃO, N. E. de M.E.; DIONÍSIO, J.A. DUARTE, M. E. M. **Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólido.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.483-488, 2003 Campina Grande, PB.

PEDROZA, J. P.; BELTRÃO, N. E. de M.; VAN HAANDEL, A. C.; GOUVEIA, J. P. G. de.; LEITE, J. C. A. **Doses crescentes de biossólido e seus efeitos na produção e componentes do algodoeiro herbáceo.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.5 – n.ro 2 - 2º Semestre 2005.

PEDROZA, J.P.;VAN HAANDEL, A. C.; BELTRÃO, N.E. de M.; DIONÍSIO, J.A.. **Qualidade tecnológica da pluma do algodoeiro herbáceo cultivado com biossólido.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.10, n.3, p.586–592, 2006.

PEREIRA, J.R.; FERNANDES, P.D.; BELTRÃO, N.E.M. **Deterioração, endurecimento e anormalidades em sementes e plântulas de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* h.) sob estresse hídrico.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.2, n.2, p.186-194, 1998.

PEREIRA, J.R.; BELTRÃO, N.E. de M.; ARRIEL, N.H.C.; OLIVEIRA, J. N. de. **Adução orgânica no gergelim no cariri cearense**. In: Simpósio Brasileiro de Aaptação de Água de Chuva no Semi-árido, 3, 2001, Campina Grande. Captação de água de chuva e cultivos apropriados ao semi-árido. Campina Grande: Embrapa Algodão/Embrapa Semi-Árido, 2001 (Cd-rom).

PETRY, C. **Adaptação de cultivares de soja à deficiência hídrica no solo**. 1991 106 f. Dissertação de Mestrado, UFSM, Santa Maria.

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

PINHO, C. de M. **Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica**., CCA/UFCE. Fortaleza, 2006. Dissertação de Mestrado

PLAUT, Z. **Photosynthesis in plant crop under water and salt stress**. In- PESSARAKLI, M. Handbook of plant crop physiology, Israel, cap. 27, p.587- 601, 1995.

PRISCO, J.T. **Possibilidades de exploração de lavouras xerófilas no semi-árido Brasileiro**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 21(4): 333-342 abr. 1986.

RAIJ, B. VAN A.. **Capacidade de troca de cátions das frações orgânicas e mineral do solo**. Bragantia, Campinas, v. 28, p 85 – 112 1969.

REDDY, A.R., CHAITANYA, K.V.; VIVEKANANDAN, M. **Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants**. Journal of Plant Physiology , v.161, p.1189-1202, 2004.

ROCHA, F. da. G.D. **Relações hídricas, crescimento de plantas e estratificação do sistema radicular em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica na fase vegetativa**. UFC, Fortaleza. 2001, 60 p, Dissertação de Mestrado

SANTOS, F.R.; CARLESSO, R. **Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.2, n3, p.287-294, 1998.

SANTOS, M.B.H. dos.; LIMA, V.L.A. VAN HAANDEL, A.C.; BELTRÃO, M.,E.N.; SOUZA, A.P. **Salinidade de um solo, irrigado com água residuária e adubado com biossólido**. Agropecuária Técnica, v.27, n.1, p.30–36, 2006.

SEVERINO, L.S.; LIMA, C.L.D. de.; BELTRÃO, N,E. de N.; CARDOSO, G.D.; FARIAS, V. de A. **Mamoneira submetida à encharcamento de solo**. I Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Sustentabilidade, 23 a 26 nov., 2004b, Campina Grande, PB.

SILVA, P.F.C. da. **Gergelim**. Pecuária, 23 (109): 40, 1983.

SILVA, L.C. **Cultura do gergelim**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1993. 15p (Treinamento para assistentes de pesquisa do sistema cooperativo de pesquisa Agropecuária).

SILVA, B.B.B. da; SOUZA, C.B de; RAO, T.V.R.; AZEVEDO, P. V. de; SOBRINHO, J.E. **Efeitos do déficit hídrico sobre a fenometria e a tecnologia de fibra do algodoeiro herbáceo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.2, p.42-46, 1998.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLIH, B.; PEIXE, C.A.; BERNARDES, E. M. **Eficiência do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, nº. 5, p 831 – 840. 2000.

SILVA, CARLOS D.; COSTA, LIOVANDO M.; MATOS, ANTÔNIO T.; CECON, PAULO R.; SILVA, DILMA D. **Vermicompostagem do lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande PB, v.6, n. 3, Set. Dez. 2002.

SOUZA, J.F.; BARREIRO NETO, M; SILVA, J.B. V.; GILES, J.A. **Velocidade de crescimento da raiz como parâmetro de resistência à seca no algodoeiro**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.18, n.2, p.169-172, 1983.

SOUZA, J.G. de; BELTRÃO, N.E. de M.; SANTOS, J.W. dos. **Influência da saturação hídrica do solo na fisiologia do algodão em casa-de-vegetação**. Revista de Oleaginosas e Fibras, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 63-71, 1997.

SOUZA, J.G. de; BELTRÃO, N.E. de M.; SANTOS, J.W. dos. **Fisiologia e produtividade do gergelim em solo com deficiência hídrica**. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras, v. 4, n.3, p. 163-168, 2000.

SOUZA, C.C.; OLIVEIRA, F.A. de; SILVA, I. de F.; AMORIM NETO, M. da S. **Avaliação de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 3, p. 337-341, mar. 2002.

SUDENE. **Pacto Nordeste: ações estratégicas para um salto do desenvolvimento regional**. Recife, 1996. 77p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TÁVORA, F.J.A.F.; COSTA, J.O; ALVES, J.F.; FILHO, M.B. **Respostas do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) a diferentes níveis de disponibilidade hídrica**. Ciência Agrônômica, Fortaleza, 16(2): 95-102, 1985.

TEARE, I.D.; PEET, M.M. **Crop –water relations**. John Wiley e Sons Publ., New York, 1983.

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

TURNER, N.C. **Adaptation to water deficits: A changing perspective.** Australian Journal of Plant Physiology, 13:175-190, 1986.

XUE, Q.; WEISS, A.; ARKEBAUER, T.J.; BAENZIGER, S.P. **Influence of soil water status and atmospheric vapor pressure deficit on leaf gas exchange in field-grown winter wheat,** Environmental and Experimental Botany, 51:167-179, 2004.

ÜNLÜ, K.; ÖZENIRLER, G.; YURTERI, C. **Nitrogen fertilizer leaching from cropped and irrigated sandy soil in Central Turkey.** European Journal of Soil Science, Oxford, v.50, n.4, p.609- 620, 1999.

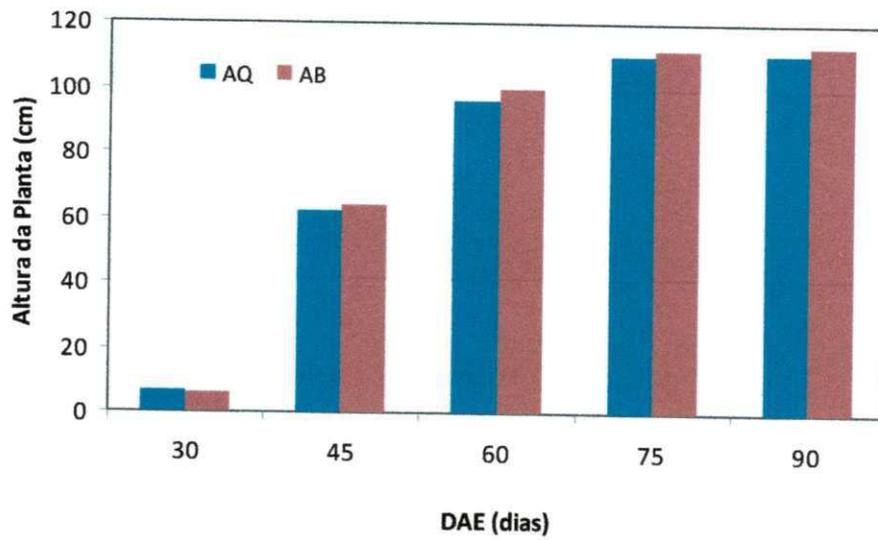
VOS, J.; VAN DER PUTTEN, P.E.L.; HUSSEIN, M.H; VAN DAM, A.M.; LEFFELAAR P.A. **Field observation on nitrogen catch crops: II. Root length and root length distribution in relation to species and nitrogen supply.** Plant Soil, 201: 149-155, .1998.

WEISS, E.A. Sesame. In: **Oil seed crops.** London: Longman, 1983, p.282-340.

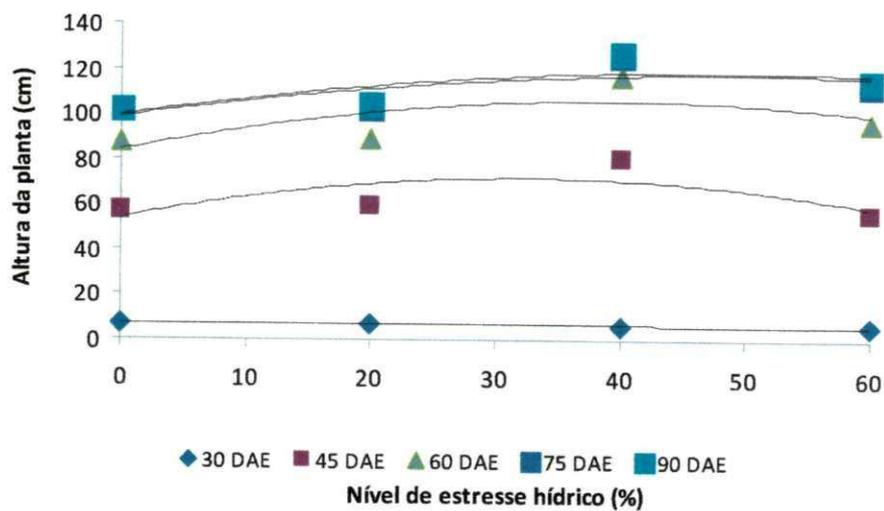
YORDANOV, I; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. **Plant response to drought, acclimation, and stress tolerance.** Photosynthetica, v.38, p.171-186, 2000.

# ANEXOS

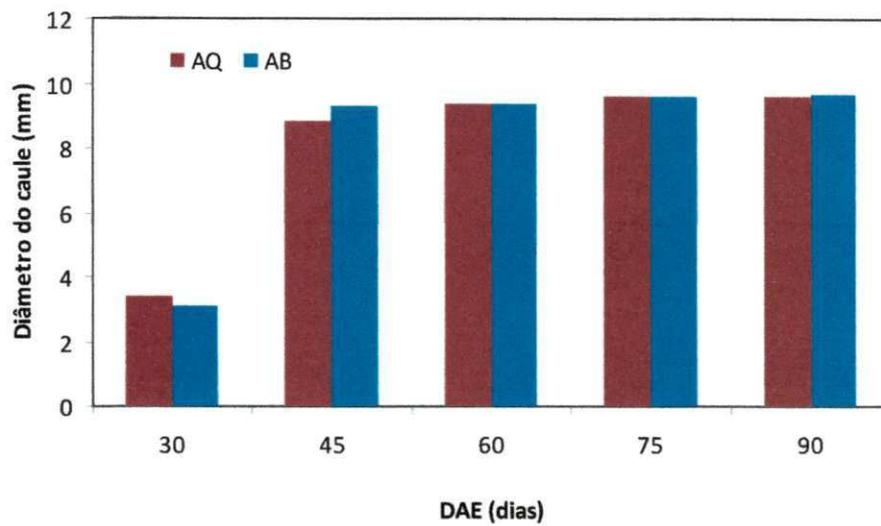
**Gráficos 1 - Altura da planta x DAE**



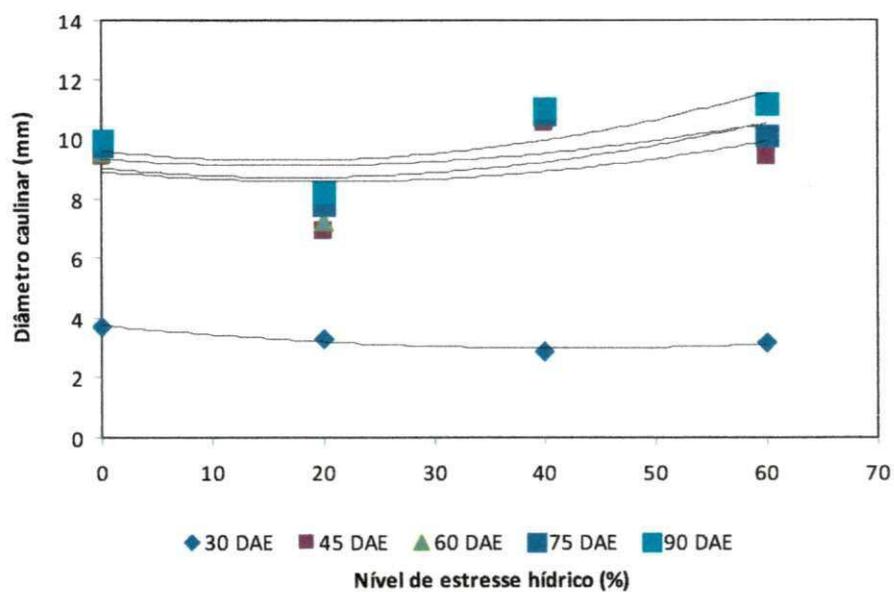
**Gráficos 2 - Altura da planta x Nivel de estresse hídrico**

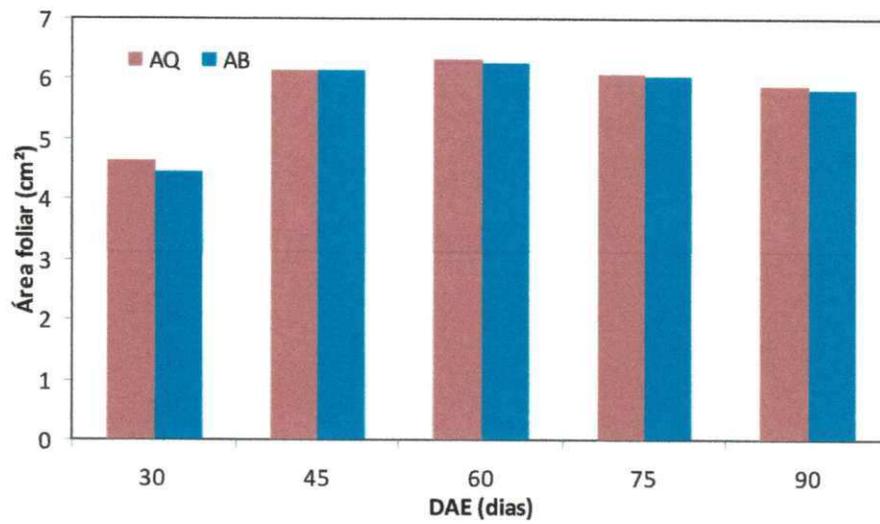


**Gráfico 3 - Diâmetro Caulinar x DAE**

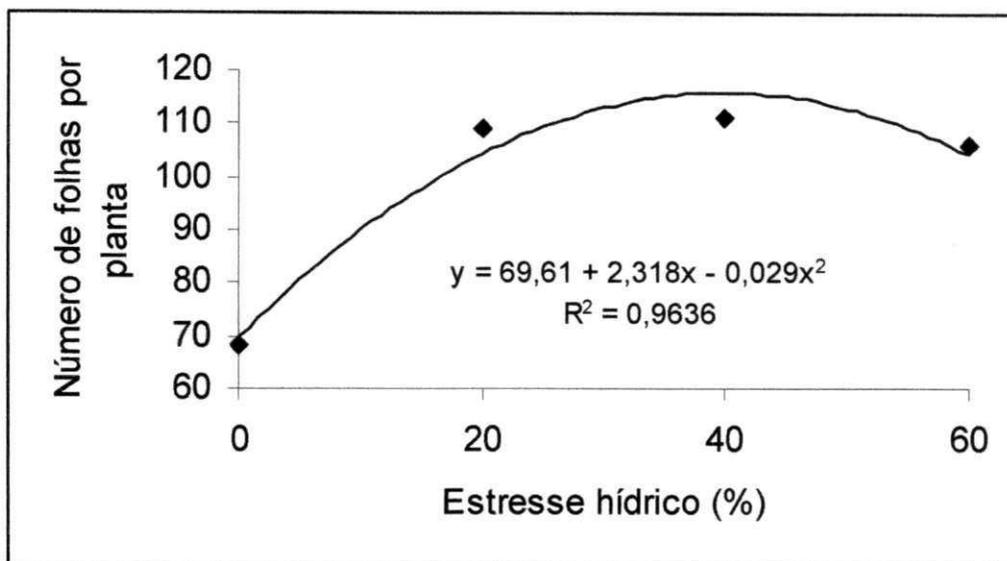


**Gráfico 4 - Diâmetro Caulinar x Nível de Estresse hídrico**

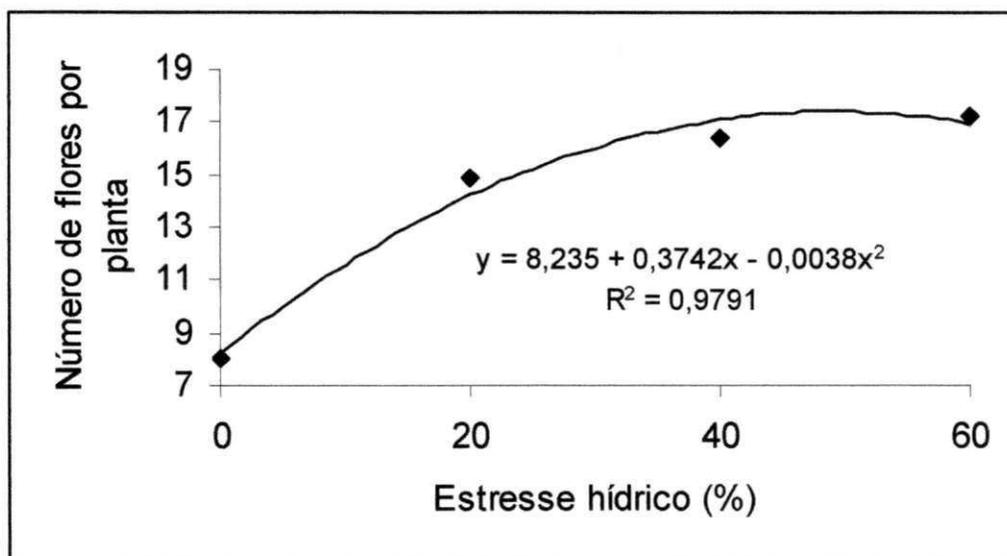


**Gráfico 5 - Área Foliar x DAE**

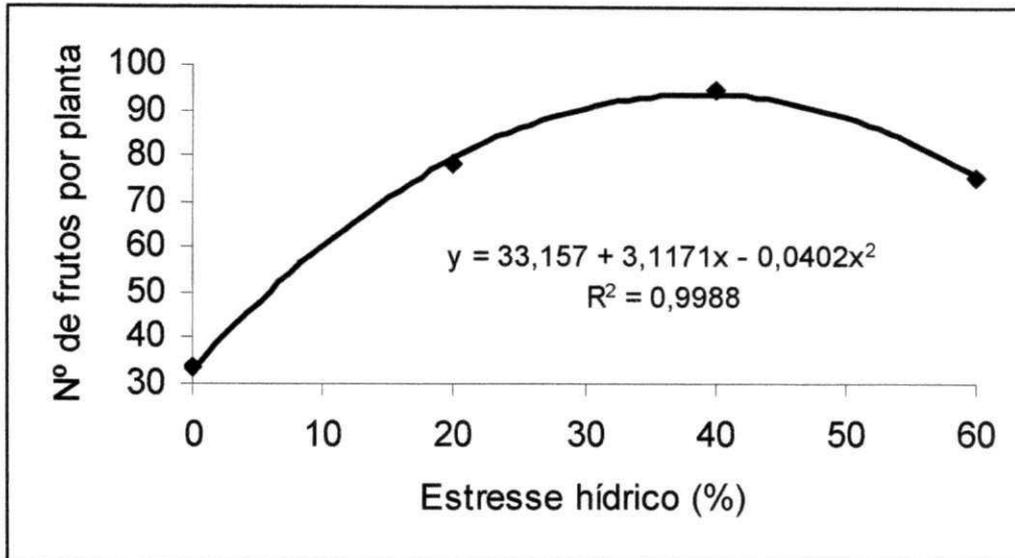
**Figura 1.** Número de folhas/planta, em função de estresse hídrico no solo



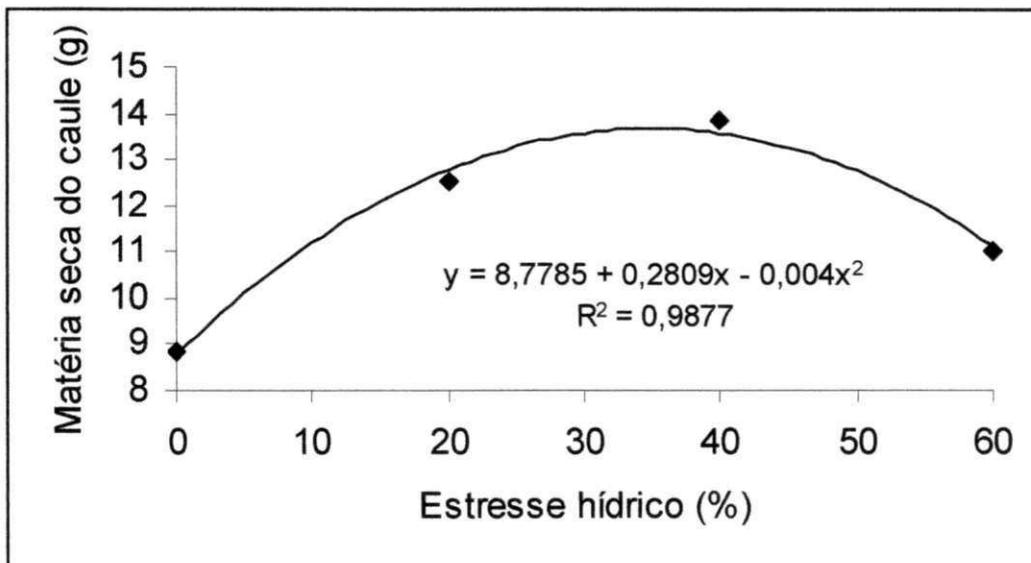
**Figura 2.** Número de flores/planta em função de estresse hídrico no solo



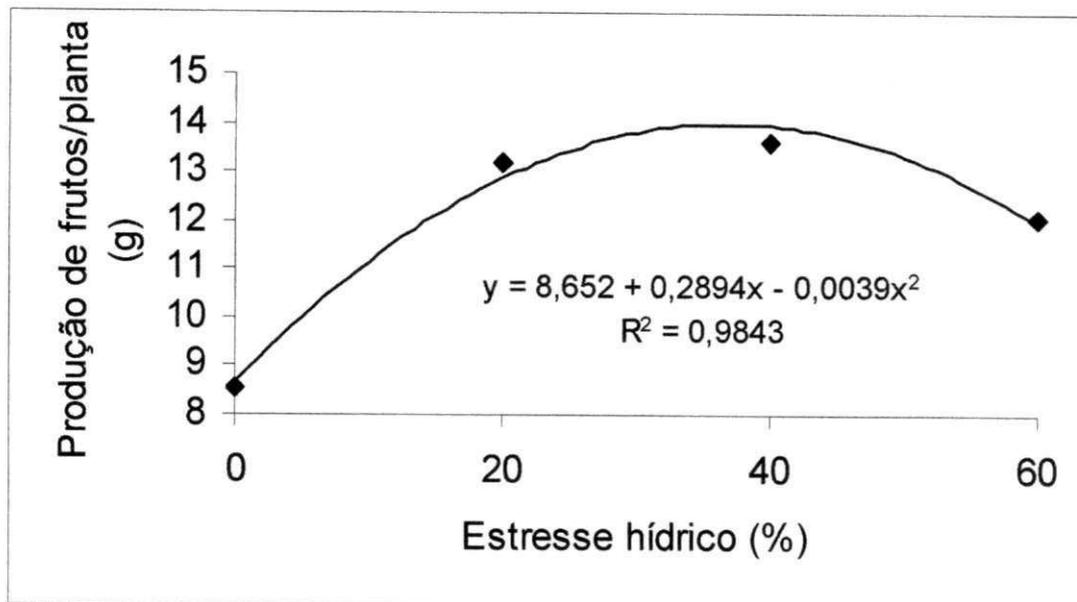
**Figura 3.** Número de frutos/planta em função de estresse hídrico no solo



**Figura 4.** Matéria seca do caule (g) em função de estresse hídrico no solo



**Figura 5.** Produção de frutos/planta (g) em função de estresse hídrico no solo



**Figura 10.** Produção de grãos/planta (g) em função de estresse hídrico no solo

