

P P G R N
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
RECURSOS NATURAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM RECURSOS NATURAIS

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSOS AMBIENTAIS

TÍTULO: Balanço Hídrico e Crescimento de Pinhão Manso Irrigado com Água Superficial Poluída, Visando à Produção de Óleo

AUTOR: RICARDO PEREIRA VERAS

2010



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia em Recursos Naturais
Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais



**BALANÇO HÍDRICO E CRESCIMENTO DE PINHÃO MANSO
IRRIGADO COM ÁGUA SUPERFICIAL POLUIDA, VISANDO À
PRODUÇÃO DE ÓLEO**

RICARDO PEREIRA VERAS

CAMPINA GRANDE- PB

Março/2010

RICARDO PEREIRA VERAS

**BALANÇO HIDRÍCO E CRESCIMENTO DE PINHÃO MANSO
IRRIGADO COM ÁGUA SUPERFICIAL POLUIDA, VISANDO À
PRODUÇÃO DE ÓLEO**

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

ORIENTADOR: Prof .Dr.PEDRO DANTAS FERNANDES - UFCG/CTRN/UAEAg

CAMPINA GRANDE- PB

Março/2010

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

V476b

Veras, Ricardo Pereira.

Balanço Hídrico e Crescimento de Pinhão Manso irrigado com Água superficial poluída, visando à produção de Óleo. / Ricardo Pereira Veras. — Campina Grande, 2010.

91 f.: il. ; Color.

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

Orientador: Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes

Referências.

1. Pinhão Manso (*Jatropha curcas*). 3 .Oleaginosa 4. Estresse Hídrico.
I. Título.

CDU 633.85(043)

RICARDO PEREIRA VERAS

**BALANÇO HÍDRICO E CRESCIMENTO DE PINHÃO MANSO IRRIGADO COM ÁGUA
SUPERFICIAL POLUÍDA**

APROVADA EM: 04/03/2010

BANCA EXAMINADORA



Dr. PEDRO DANTAS FERNANDES

Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. NAPOLEÃO ESBERARD DE MACEDO BELTRÃO

Centro Nacional de Pesquisa do Algodão - CNPA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA



Dra. ANNEMARIE KONIG

Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

In memóriam

Minha mãe: OTACILIA PEREIRA VERAS, por tudo que fez por mim até seu último dia, pois não teria chegado até onde cheguei sem suas lições e seu amor, obrigado mãe por tudo.

DEDICO

Ao meu pai, Manoel Veras Filho e ao meu irmão
Roberto Pereira Veras, pilares de minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido fazer parte de minha família, pois sem ela não seria ninguém. .

Ao CNPq- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela oportunidade da bolsa de estudos e pelo apoio financeiro durante a pesquisa.

Ao BNB pelo apoio financeiro para financiamento da pesquisa com recursos do FUNDECI.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, pela concessão dos dados meteorológicos.

Ao meu orientador Dr. Pedro Dantas Fernandes pelos conhecimentos repassados e confiança em minha orientação.

Aos amigos Dr. Napoleão Beltrão – Embrapa Algodão, Dr Annemarie Konig-CTRN, pelas informações repassadas.

Aos queridos amigos Paulino Silva Constantino, Frederico Campos Pereira, Zezineto Mendes, Maria Betânia Rodrigues, Maria José Vieira Tavares pela amizade, incentivo e contribuição nas atividades.

Ao professor José Dantas- UFCG, pela amizade e, acima de tudo, pelo apoio oferecido durante a pesquisa.

À professora Dra. Vera Lúcia A. de Lima, pelos conhecimentos repassados e pelo carinho e confiança disponibilizada.

Aos amigos e funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade, Francisco de Assis ('Doutor')

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivo específico	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	Histórico do reuso de água na agricultura	17
3.2	Conceito de reuso de água	17
3.3	Contextualização legal do reuso de água no Brasil	19
3.4	Reuso não potável: enfoque na agricultura	19
3.5	O uso de esgotos tratados em irrigação	21
3.6	Vantagens e desvantagens do reuso de águas	23
3.7	Características dos efluentes tratados	25
3.8	Aspecto sanitário do reuso de águas na agricultura	27
3.9	Efeitos nos atributos químicos do solo	28
3.10	Água superficial poluída- solo- planta	29
3.11	Salinidade e sodicidade	30
3.12	Qualidade da água na agricultura	32
3.13	Recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) quanto ao uso de águas residuárias na agricultura	35
3.14	Pinhão-manso	36
3.14.1	Importância econômica e cultural	37
3.14.2	Clima e solo	39
4	MATERIAL E MÉTODO	40
4.1	Área experimental e tratamentos	40
4.2	Formação de mudas	42
4.3	Construção e preparação dos lisímetros	42
4.4	Irrigação	43

4.5	Tratamento e delineamento estatístico	44
4.6	Outros tratos culturais	44
4.7	Variáveis em estudo	45
4.7.1	Variáveis de crescimento	45
4.7.2	Variável de produção	46
4.7.3	Consumo de água e Evapotranspiração	46
4.7.4	Coeficiente de cultivo (Kc)	47
4.7.5	Análise do solo antes e no final do experimento	47
4.7.6	Análise econômica	48
4.7.7	Análises estatísticas	48
5	RESULTADOS	49
5.1	Altura da planta	49
5.2	Diâmetro do caule	53
5.3	Número de Folhas	57
5.4	Área foliar	60
5.5	Número de frutos	63
5.6	Número de sementes	66
5.7	Peso de sementes	69
5.8	Teor de óleo e massa de 100 sementes	71
5.9	Consumo de água	72
5.10	Evapotranspiração da cultura	75
5.11	Coeficiente de cultivo (kc)	78
5.12	Análise econômica	79
6	CONCLUSÕES	82
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

Lista de Tabelas

1	Concentração de nutrientes de fertilizante orgânico	24
2	Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade	32
3	Atributos de efluentes domésticos secundários	34
4	Qualidade microbiológica de água residuária na agricultura	35
5	Características analisadas da água superficial poluída utilizada no experimento	44
6	Dados da análise dos atributos químicos do solo coletado nos lisímetros, na profundidade 0-10 cm, antes e após o período experimental.	48
7	Resumos das análises de variância, com decomposição dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para altura de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 DAT.	51
8	Resumos das análises de variância, com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para diâmetro caulinar de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 dias após transplantio. Campina Grande, PB 2009	55
9	Resumo da análise de variância, com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para, número de folhas de pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 DAT. Campina Grande, PB 2009.	59
10	Resumos das análises de variância, com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para área foliar de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 dias após transplantio. Campina Grande-PB 2009	62
11	Resumos das análises de variância, com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para número de frutos de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 dias após transplantio. Campina Grande 2009	64
12	Resumos das análises de variância, com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para número de sementes de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção	67

	de 210 aos 480 dias após transplantio.	
13	Resumos das análises de variância, com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para peso de sementes de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 dias após transplantio. Campina Grande-PB 2009	70
14	Resumos das análises de regressão do consumo de água de plantas do pinhão manso irrigado com água superficial poluída aos 210,240,270,300,330,360,390,420,450 e 480 dias após transplantio. Campina Grande 2009	74
15	Resumo das análises de regressão da Evapotranspiração de plantas do pinhão manso irrigado com água superficial poluída aos 210,240,270,300,330,360,390,420,450 e 480 dias após transplantio. Campina Grande-PB, 2009	77
16	Dados de Evapotranspiração da cultura (ETc), Evapotranspiração de referencia (ETo) e Coeficiente de cultivo (kc) do pinhão manso, em vários períodos de crescimento e produção, pelo método de Samani-Hargreaves, utilizando a temperatura ambiente. Campina Grande-PB, 2009.	79
17	Custo de produção de pinhão manso irrigado com água superficial poluída dos 210 aos 480 DAT.	81

Lista de Figuras

1	Área experimental com os lisímetros de drenagem. Campina Grande-PB,2009	40
2	Croqui da área experimental. Campina grande-PB 2009	41
3	Área experimental com os lisímetros de drenagem. Campina Grande-PB,2009	42
4	Croqui da instalação do lisímetro	43
5	Valores médios da altura de plantas do pinhão manso dos 210 aos 480 dias após transplântio, em função de diferentes níveis de reposição da Evapotranspiração da cultura. Campina Grande,PB- 2009.	52
6	Curvas de evolução da altura de plantas do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. Campina Grande-PB 2009	53
7	Curvas de evolução do diâmetro caulinar do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. Campina Grande, PB 2009.	56
8	Curvas de evolução do número de folha do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. Campina Grande, PB 2009.	60
9	Curvas de evolução da área foliar do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. Campina Grande, PB 2009	63
10	Número de frutos de plantas do pinhão manso irrigado com água superficial poluída dos 210 aos 480 dias após transplante (DAT), Campina Grande-PB 2009	65
11	Números de sementes de pinhão manso irrigado com água superficial poluída dos 210 aos 480 (DAT), Campina Grande-PB 2009	68
12	Peso de sementes de pinhão manso irrigado com água superficial poluída dos 210 aos 480 (DAT), Campina Grande-PB, 2009	71
13	Medias da quantidade de massa em (g), e teor de óleo (%) de sementes de pinhão manso aos 480 dias após transplântio, em experimento realizado em Campina Grande (PB), de mar-nov/ 2009	72
14	Consumo de água mensal de pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, dos 210 aos 480 dias após transplante. Campina Grande-PB, 2009	75
15	Evapotranspiração de pinhão manso irrigado com água superficial poluída dos 210 aos 480 dias após transplântio. Campina Grande, 2009	78

Lista de Siglas

ABA - Anuário Brasileiro de Agroecologia

Af - Área foliar

CH - Condutividade Hidráulica

DAS - Dias após Semeadura

DAT - Dias após Transplântio

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETc - Evapotranspiração da Cultura

ETo - Evapotranspiração de Referencia

NF - Número de folha

OMS - Organização mundial de Saúde

RAS - Razão de adsorção de sódio

SUDENE – Superintendência de desenvolvimento do Nordeste

BALANÇO HÍDRICO E CRESCIMENTO DE PINHÃO-MANSO IRRIGADO COM ÁGUA SUPERFICIAL POLUÍDA, VISANDO À PRODUÇÃO DE ÓLEO

RESUMO

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta produtora de óleo, da família *Euphorbiaceae*, nativa das Américas e, atualmente, considerada uma alternativa para produção de biodiesel. Objetivou-se com esta pesquisa, estudar os possíveis efeitos da irrigação com água superficial poluída de esgoto doméstico, em diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, sobre o crescimento e a produção de pinhão manso. O experimento foi desenvolvido em lisímetros de drenagem, em campo, em instalações da UFCG, campus de Campina Grande, no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. O delineamento estatístico foi em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo estudados cinco níveis de reposição da evapotranspiração - Nr ($Nr_1 = 0,25$; $Nr_2 = 0,50$; $Nr_3 = 0,75$; $Nr_4 = 1,00$ e $Nr_5 = 1,25$ da ETc). A unidade experimental foi constituída de uma planta cultivada em cada lisímetro. As irrigações foram realizadas em turno de rega de três dias; o volume de água aplicado, em cada tratamento, foi determinado através de balanço hídrico, tomando-se por base o tratamento Nr₄. A irrigação com água superficial poluída favoreceu o crescimento e produção das plantas, com influência numa possível elevação da renda de agricultores que venham a trabalhar com essa cultura. As variáveis, altura de plantas, número de folhas, número de sementes, peso de sementes e consumo de água e teor de óleo foram afetadas de maneira significativa pelos níveis de reposição da evapotranspiração, em todos os períodos estudados. No tratamento com 1,25 da evapotranspiração verificaram-se as maiores taxas de crescimento das plantas em altura, produção e peso de sementes, teor de óleo e número de folhas. O consumo total de água, a evapotranspiração total da cultura e a evapotranspiração média aumentaram com os níveis crescentes de umidade do solo e em função do desenvolvimento da planta.

Palavras chave: Pinhão manso (*Jatropha curcas*), oleaginosa, estresse hídrico

WATER BALANCE AND GROWTH OF JATROPHA IRRIGATED WITH WATER POLLUTED SURFACE, AIMING AT THE PRODUCTION OF OIL.

ABSTRACT

Jatropha (Jatropha Curcas L.) is a plant producing oil, Euphorblacea's family, native of the Americas and is currently considered an alternative for production of biodiesel. Objective of this research was to study the possible effects of irrigation with polluted surface water with sewage at different replacement levels of evapotranspiration, growth and production of Jatropha. The experiment was conducted in drainage lysimeters, under field conditions in facilities, of the Federal University of Campina Grande, Campina Grande campus in the Center of Tecnology and natural resources of the academic drive of Agricultural Engineering. The statistical design was randomized blocks with four repetitions and were studied five levels of water replacement. Nr (Nr1=0,25; Nr2=0,50; Nr3=0,75; Nr4=1,00 and Nr5=1,25, evapotranspiration, etc...) The experimental unit was composed of a plant grown in each lysimeter. Irrigation was performed according to a irrigation frequency of three days, the volume of water applied in each treatment was determined by water balances using as a base treatment Nr4. The irrigation with polluted surface favored the better growth and production of plants, offering a possible increase of income of farmers who will work with this crop. As variables of growth (plant height, numbers of leaves, number of seeds, seeds weight, water consumption and oil content), were affected so significantly by the replacement levels of evapotranspiration in all periods studied. Treatments with 1,25 evapotranspiration there were higher rates of plant growth in height, production and seed weight, oil content and number of leaves. The total consumption of water, and evapotranspiration of the crop average evapotranspiration increased, with increasing levels of soil moisture and in accordance with the development of the plant.

Keywords: Jatropha curcas, oily water stress

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação mundial com o meio ambiente e com as desigualdades sociais, associada aos esforços sociais, acadêmicos e governamentais vem viabilizando uma série de alternativas para o desenvolvimento sustentável. A inclusão do biodiesel na matriz energética nacional representa uma alternativa ambientalmente correta e uma oportunidade de desenvolvimento sócio-econômico para o país (RAMOS et al., 2003).

Pertencente a família *Euphorbiaceae*, o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta com muitos atributos, usos múltiplos e potencial considerável, podendo ser usada para prevenir e controlar erosão, contenção de animais, sua torta tratada pode ser utilizada na alimentação animal; várias partes da planta têm valor medicinal, suas flores atraem abelhas, com potencial de produção de mel. Além disso, contém óleo que pode ser usado na fabricação de sabão, na indústria de cosméticos e na produção de biodiesel. Entretanto, o potencial desta cultura ainda não é explorado por falta de pesquisas (OPENSHAW, 2000).

A sua origem é duvidosa, alguns a consideram nativa do Brasil, mas conforme a ABA (2007), seu mais provável local de origem é a América Central. Possui crescimento rápido, em solos pedregosos e de baixa umidade. Muitas vezes é cultivado como cerca viva, mas seu maior emprego está na medicina popular, no entanto, as sementes são tóxicas aos seres humanos e animais (HELLER, 1996).

As perspectivas favoráveis da implantação racional dessa cultura decorrem, não somente dos baixos custos de sua produção agrícola, conforme se deve esperar diante das vantagens anunciadas, mas, sobretudo, porque poderá ocupar solos pouco férteis e arenosos, de modo geral inaptos à agricultura de subsistência, proporcionando, dessa maneira, uma nova opção econômica às regiões carentes do país, principalmente na agricultura familiar (MAKKAR et al., 1997).

O aumento das áreas de plantio de pinhão manso vem contribuindo como instrumento de fixação de mão de obra no campo, principalmente dos pequenos produtores rurais, que vislumbram nessa cultura, mais uma fonte de renda continuada. Por ser perene, também contribui para a conservação do solo e reduz o custo de produção, fator importante para sua viabilidade econômica. No entanto, a falta de conhecimentos científicos sobre essa cultura dificulta a exploração do máximo de sua produtividade (AZEVEDO, 2006).

Com a demanda crescente de energia, em todo o mundo, as prioridades se voltam para fontes de energia renováveis, destacando-se, dentre as plantas oleaginosas, o pinhão manso como uma excelente alternativa, diminuindo os impactos negativos de combustíveis originados do petróleo sobre o meio ambiente. É uma opção renovadora de geração de emprego e renda no meio rural e matéria-prima para a obtenção de produtos necessários ao desenvolvimento da indústria e da sociedade.

O pinhão manso é uma planta de crescimento rápido, ciclo de vida longa, se adapta a locais de solo pobres em nutrientes e com baixa pluviosidade, e pode se plantado em consórcio com outras culturas, sua exploração com fins industriais vem se destacando no cenário mundial, segundo informações da literatura, seu crescimento é viável com uso de águas de qualidade inferior.

São vários os motivos para se reutilizar a água na agricultura, proveniente tanto de esgotos como de drenagem urbana, com destaques para a dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação e custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários à descarga de efluentes em corpos receptores. Um exemplo notável de recuperação econômica, associada à disponibilidade de esgotos para irrigação, é o caso do Vale de Mezquital, no México; naquela região, a renda agrícola aumentou de quase zero no início do século XX, quando os esgotos da cidade do México foram postos à disposição da região, até aproximadamente 4 milhões de dólares americanos por hectare, em 1990 (LEÓN SUEMATSU & CAVALLINI, 1999).

Para Hespanhol (2002), a aplicação de esgotos no solo é uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semiáridas. Os maiores benefícios dessa forma de reuso estão relacionados a aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública. O aproveitamento de efluentes, seja de drenagem ou de esgotos, na produção agrícola, além de se constituir numa prática de reuso da água e de preservação da qualidade dos recursos hídricos, traz benefícios para a nutrição de culturas agrícolas e florestais, pelo fato dos efluentes possuírem elementos essenciais às plantas.

Nesse sentido, nos últimos anos vários fatores contribuíram para o aumento do interesse pela irrigação com efluentes, dentre eles, a escassez de recursos hídricos, o avanço do conhecimento técnico-científico em relação ao potencial que representa o reuso de

esgotos e as limitações do reuso agrícola; considerem-se, também, outras vantagens, como controle da poluição ambiental, economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola.

As águas de qualidade inferior, tais como efluentes de processos industriais e de esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras devem, sempre que possível, ser consideradas fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para a utilização dessas fontes constitui-se, hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água (HESPANHOL, 2003).

São pouco conhecidas a bioquímica e a fisiologia do pinhão manso. Não existem cultivares definidas e alguns aspectos agronômicos ainda necessitam ser estudados, como, por exemplo, a população de plantas ideal e a configuração de plantio (BELTRÃO, 2006). Contudo, a possibilidade do uso do óleo do pinhão manso, na produção do biodiesel, abre novas e amplas perspectivas para o aumento das áreas de plantio com o pinhão manso na região semiárida do Nordeste brasileiro.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Estudar os possíveis efeitos da irrigação com águas superficial poluída sobre o crescimento e a produção de pinhão manso.

2.2. Objetivos Específicos

- 1- Avaliar as conseqüências ambientais e os impactos provocados pelo manejo das águas superficiais poluídas no solo.
- 2- Avaliar os efeitos da irrigação com água superficial poluída, sobre o crescimento e a produção das plantas.
- 3- Avaliar os efeitos da utilização de água superficial poluída sobre o teor de óleo extraído das sementes.
- 4- Avaliar o custo de produção.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Histórico do reuso de água na agricultura

A utilização de dejetos humanos na agricultura (fertilização de culturas, para reposição de nutrientes em solos pobres) e na piscicultura é uma prática antiga em muitos países do sudeste asiático, principalmente na China. As primeiras cidades européias a adotarem esta prática foram Bunzlau na Alemanha, em 1531, e Edinburgo na Escócia, em 1650. Na França, sistemas de disposição de esgotos remontam a 1868 e, após 4 anos de implantação, já eram irrigados cerca de 900 ha com parte dos esgotos da cidade de Paris; o restante dos efluentes era descarregado no Rio Sena. Em 1904, cessou a descarga de esgotos nesse rio e toda a vazão era destinada às fazendas de esgoto, com uma área total de 5.300 ha (KONIG e CEBALLOS, 1997).

Em 1897, a cidade de Melbourne, na Austrália, implantou a Fazenda WERRIBEE para descartar e tratar seus esgotos através do plantio de forrageiras, destinadas à pastagem de ovinos e bovinos. Esse empreendimento, bem sucedido, ainda está em funcionamento e, atualmente, irriga 10.000 ha com o efluente do maior sistema de lagoas de estabilização do mundo (ASANO e LEVINE, 1996).

Nos Estados Unidos, os primeiros projetos de reuso remontam a 1880 e eram sistemas naturais de tratamento com aplicação no solo. No início do século XX, muitos dos projetos de fazendas de esgotos foram, gradualmente, abandonados nos Estados Unidos e na Europa, devido, entre outros fatores, à urbanização crescente das cidades que chegavam até as proximidades dessas fazendas (ASANO e LEVINE, 1996).

Os fatores determinantes do abandono de tais práticas foram: a geração de odores desagradáveis e a preocupação com a saúde pública, devido à transmissão de doenças, através dos vegetais irrigados com águas contaminadas. Outra desvantagem que contribuiu para esse declínio, nas regiões temperadas, foi o excesso de chuvas que impedia a irrigação fazendo com que os esgotos fossem descarregados em rio e riachos próximos, além da supersaturação dos terrenos irrigados e a destruição das culturas (KONIG e CEBALLOS, 1997).

Contudo, a crescente demanda da reutilização de águas superficiais poluída na irrigação não se deu somente por necessidades do pós-guerra, mas também devido ao

avanço tecnológico permitindo um melhor conhecimento sobre o tema. Com isso houve o desenvolvimento das técnicas agrícolas de manejo do solo e de irrigação e principalmente o conhecimento físico-químico e microbiológico, aplicado aos esgotos (ASANO e LEVINE, 1996).

Nos últimos tempos, o uso de efluentes de esgotos tratados na irrigação tem sido cada vez mais desejável, em face do rareamento de fontes de água natural para a irrigação e do alto custo de adubos comerciais; considere-se, também, a necessidade crescente de controle da poluição ambiental e de proteção da saúde pública, mediante a disposição adequada dos esgotos sanitários. Essa prática é viável, à medida que mais se conhecem os benefícios às culturas irrigadas e se constata que os riscos à saúde são muito menores do que se pensava (KONIG e CEBALLOS, 1997).

3.2. Conceito de reuso de água

Na antiguidade, há registros de reuso de água em sistemas de esgotamento sanitários associados a antigos palácios e a cidades da civilização Minoan, da ilha de Creta, na antiga Grécia (ASANO e LEVINE, 1996). Israel é o país pioneiro na prática de reuso de água, destacando-se também países como Tunísia, África do Sul, México e algumas localidades dos Estados Unidos, como Califórnia e Arizona (ANGELAKIS et al., 1999). Essa prática centenária e corrente em muitos países possui registros desde o século XIX (ASANO e LEVINE, 1996), sendo a irrigação agrícola uma das formas mais comuns de utilizar águas residuárias (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998). Dessa forma, o uso das águas residuárias passou a contribuir com a economia do uso da água potável, ajudando a reduzir a demanda sobre os mananciais de água bruta, ficando estes reservados a usos mais nobres (SANTOS e SOUZA, 2000).

Torna-se necessário, também, considerar os benefícios diretos e indiretos quanto ao reuso não potável na agricultura. Dentre os benefícios diretos pode-se citar o aumento da produtividade ou da produção, economia no uso de fertilizantes comerciais, economia no uso de água, dentre muitos outros. Quanto aos benefícios indiretos, os quais são mais difíceis de quantificar, citam-se o aumento do nível nutricional das populações mais pobres, meio do aumento da produção de alimentos, o aumento da disponibilidade de empregos e

assentamentos populacionais nas áreas rurais, a redução de danos ao meio ambiente, a proteção de recursos subterrâneos contra depleção, a proteção dos recursos de água de boa qualidade contra a poluição e ao controle da erosão e redução da desertificação, dentre outros (O'CONNOR et al., 2008).

3.3. Contextualização legal do reuso de água no Brasil

Não existe no Brasil uma legislação específica que determine parâmetros quanto ao reuso potável e não-potável da água, porém, podem-se indicar fundamentos jurídicos e condicionantes legais que futuramente poderão servir como um fio guia rumo a um reuso seguro e sustentável da água.

Segundo a Constituição Federal de 1988, é de responsabilidade da União, instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e definir critérios para a outorga de direitos de seus usos; bem como instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, incluindo o saneamento básico. Anterior à Constituição de 1988, o tratamento jurídico das águas no Brasil a considerava como um bem inesgotável, passível de utilização abundante e farta. Tal pensamento pauta a utilização de recursos ambientais no mundo até pouco mais da metade do século XX (MUFFAREG, 2003).

3.4. Reuso não potável: enfoque na agricultura

Em 1958, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos, com base no seguinte conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior” (HESPANHOL, 2002). Dentre as atividades a agricultura é a que utiliza maior quantidade de água e pode tolerar águas de qualidade mais baixa do que a indústria e o uso doméstico. É, portanto, inevitável que exista crescente tendência para se encontrar na agricultura a solução dos problemas relacionados com a eliminação de efluentes (AYRES e WESTCOT, 1999).

A irrigação intensifica a produção agrícola, aumenta a disponibilidade e os estoques de cultivares e permite uma produção na contra-estação. A irregularidade das chuvas, as quais são intermitentes e mais escassas a cada dia, pode limitar o potencial de

desenvolvimento das culturas (BERNARDI, 2003). A água e escassez de alimentos, conforme relatório do Internacional Food Policy Research Institute & International Water Management Institute (2002), projeta-se que em 2025 a escassez de água causará perdas anuais globais de 350 milhões de toneladas na produção de alimentos, mais que a produção anual de grãos dos Estados Unidos. Caso não se alterem as políticas e prioridades, em vinte anos, não haverá água suficiente para cidades, domicílios, ambiente natural ou cultivo de alimentos. A crescente competição por água limitará severamente sua disponibilidade para a irrigação, que, por sua vez, restringirá seriamente a produção de alimentos no mundo. O declínio na produção de alimentos poderia provocar a elevação absurda de preços, que resultaria em significativo aumento da desnutrição, já que muitos povos pobres, em países em desenvolvimento, já gastam mais da metade de sua renda em alimento. Desta forma, a gestão dos recursos hídricos – água de chuva, rios, subterrâneas e de reuso não potável no meio urbano, nas indústrias e na agricultura, principalmente, deve considerar o uso cada vez mais eficiente da água disponível, ou seja, a obtenção de cada vez mais benefícios com o uso de cada vez menos água e proteção da sua qualidade (REBOUÇAS, 2001).

O reuso não potável de água na agricultura pode ser importante não apenas como fonte extra de água, mas também como fonte de nutrientes, visto que pode auxiliar no desenvolvimento da cultura. De acordo com Friedler e Juniaco (1996), a aplicação dos nutrientes contidos nos esgotos ou efluentes tratados pode reduzir, ou mesmo eliminar, a necessidade de fertilizantes comerciais.

Em Portugal, diante das crescentes necessidades de recursos hídricos, os agricultores chegaram a perfurar tubulações das redes de drenagem urbanas para desviar as águas residuárias para as suas propriedades. Tal prática evidencia a percepção dos agricultores acerca do valor fertilizante dos esgotos ou águas residuais urbanas, porém a ela se devem, seguramente, as elevadas taxas de mortalidade associada a doenças propagadas por via hídrica, verificadas praticamente em todo o país (MARECOS e SOUSA, 1993).

Atualmente, uma das grandes preocupações da humanidade se refere ao uso racional dos resíduos de esgotos domésticos; a água superficial poluída, que é rica em vários nutrientes e pode ser, com alguns cuidados, como a monitoração do solo, utilizada como fonte de água de irrigação tendo, assim, um destino de elevada utilidade para a sociedade, confirmando que o uso de águas residuárias domésticas tratadas em irrigação é uma fonte

alternativa de água para as culturas irrigadas no Nordeste, como ressaltam (SOUSA e LEITE, 2003).

O reuso é muito atraente para as regiões áridas e semiáridas, onde a falta de água ou a distribuição irregular das chuvas limita a produção agrícola. Dentre as diversas vantagens que apresenta, destacam-se (STRAUSS e BLUMENTHAL, 1989), a) ser uma fonte de água para diversas atividades, como agricultura, aquícultura e recarga de aquíferos, permitindo poupar os mananciais de melhor qualidade para usos mais nobres - como o consumo humano; b) ser uma fonte natural de nutrientes (N, P, K contidos na matéria orgânica em decomposição), permitindo a economia de fertilizantes inorgânicos; simultaneamente, os esgotos agem como melhoradores das propriedades físicas do solo; c) constituir um mecanismo de proteção ambiental ao evitar a descarga de poluentes (eutrofizantes e patogênicos) nos corpos aquáticos receptores.

O reuso da água na irrigação é uma alternativa que vem se mostrando viável por várias razões: em áreas onde as culturas mais necessitam de irrigação a água é via de regra, escassa; a agricultura irrigada requer grandes volumes de água, que representam a maior demanda de água nas regiões áridas; as plantas podem ser beneficiadas não somente pela água, mas também, dentro de certos limites pelos materiais dissolvidos nos efluentes, tais como substâncias húmicas, nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes (PESCOD, 1992). Para se reduzir problemas de contaminação por microorganismos de águas de esgoto tratado, o uso de culturas que não sejam diretamente comestíveis pode ser uma alternativa para o incremento da produção.

Os esgotos sanitários possuem teores de macro e micronutrientes suficientes para o atendimento da demanda da maioria das culturas; assim, a irrigação das culturas através de corpos d'água que recebem lançamentos de esgotos sanitários, pode ser considerada uma fertirrigação (NUVOLARI, 2003).

3.5. O uso de esgotos tratados em irrigação

O uso de esgotos na irrigação, quando possível, é sempre uma boa medida, como destino final, ou antes, que atinjam às águas. No mínimo porque, dispostos no solo, os esgotos sofrem depuração natural e qualquer que seja o grau de tratamento, são menos

maléficos às águas do corpo receptor. Ademais, constituem fator recondicionante (água, matéria orgânica, e nutrientes minerais). Já o lançamento de esgotos em corpos d'água é quase sempre indesejável e insuportável, a não ser que recebam tratamento exigente.

Os resíduos líquidos mais comuns aplicados ao solo incluem água de esgoto convencionalmente tratada, lodo de esgoto líquido (com mais de 95% de água), dejetos líquidos de animais, efluentes do processamento de frutas, vegetais, produtos de origem animal, leiterias e indústrias de produtos fibrosos (BOUWER, 2000).

A aplicação de resíduos orgânicos e água superficial poluída no solo tem sido comum desde muitos anos como um processo de tratamento e meio de disposição (FEIGIN et al., 1991). Nos tratamentos convencionais, a energia contida nos esgotos é dissipada mediante a mineralização da matéria orgânica e lançando-se os nutrientes nos corpos receptores. Porém, através da disposição de esgoto no solo, a energia é canalizada e utilizada para produção de alimentos, recarga de aquíferos, irrigação e outros fins (PAGANINI, 1997).

Quando se utilizam os esgotos para irrigação, o sistema solo-microorganismos-plantas pode estabilizar o esgoto, complementando a depuração e, além de "proteger" os corpos d'água à jusante, fornecer nutrientes para as plantas que os utilizam no seu processo de crescimento.

Quando os efluentes são aplicados, de forma controlada, na superfície do solo, os mesmos podem adquirir um maior grau de tratamento através dos processos físicos, químicos e biológicos da matriz solo-planta-água. O solo, sendo um sistema vivo e dinâmico, caracterizado por ter uma grande superfície ativa e resultante de processos físicos, químicos e biológicos, reage fortemente com os constituintes do efluente. Os compostos orgânicos decompõem-se em CO₂, H₂O e compostos inorgânicos. Os constituintes inorgânicos podem ser trocáveis, adsorvidos ou precipitados, seguindo reações químicas que os transformem em compostos de baixa solubilidade, ou eles podem ser absorvidos pelas plantas e conseqüentemente, serem parcialmente removidos da solução de fluxo. Assim, o solo e as plantas atuam como verdadeiros "filtros vivos", absorvendo e retendo poluentes e organismos patogênicos presentes nos resíduos e efluentes (FEIGIN et al., 1991).

3.6. Vantagens e desvantagens do reuso de águas

Dentre os principais sistemas de disposição de águas residuárias no solo (irrigação, infiltração/percolação e escoamento à superfície), a irrigação de culturas tem sido o método mais acessível e eficiente, particularmente, nos países em desenvolvimento onde não há uma política para o custo de tratamento das águas residuárias (FEIGIN et al., 1991).

Em determinadas regiões do México e da costa desértica do Peru, o desequilíbrio dos recursos hídricos e o crescimento explosivo das grandes cidades obrigaram a priorização do uso das águas superficiais para o abastecimento público e a geração de energia elétrica. Conseqüentemente, as atividades agrícolas desenvolvidas na periferia das cidades foram seriamente afetadas e assim o uso das águas residuárias tornaram-se a única alternativa para a sobrevivência. Isto reflete a existência de mais de 400.000 ha irrigados com esgoto, de forma direta, sendo na sua maioria sem tratamento prévio (LÉON et al., 1999).

A reutilização de efluentes tratados e/ou parcialmente tratados na irrigação de culturas agrícolas e/ou florestas, ao invés de descarregá-los nos cursos d'água, tem sido uma alternativa popular de rápida expansão nos últimos anos, por várias razões (BOWER, 2000): (a) nos locais onde as culturas necessitam serem irrigadas e os recursos hídricos são escassos, como é o caso de regiões semiáridas, os efluentes têm sido uma fonte suplementar d'água para sustentabilidade da agricultura irrigada ; (b) a agricultura irrigada requer grandes quantidades de água que são utilizadas somente uma vez, visto que a irrigação basicamente é um uso consumível e conseqüentemente, o requerimento d'água para irrigação apresenta a maior parte do total de água demandada, principalmente nas regiões secas ; (c) o uso de efluente de esgoto tratado na agricultura pode ser proveitoso não somente como fonte d'água, mas também, dentro de certas limitações, de outros recursos adicionais encontrados nas águas residuárias; (d) as águas residuárias não somente mantêm as águas de superfície, mas também, a sua disposição no solo implica em reciclagem, onde "poluentes" passam a ser nutrientes para o crescimento das plantas; (e) a irrigação é relativamente flexível com despeito ao requerimento da qualidade da água. Algumas culturas podem ser irrigadas com água de baixa qualidade sem maiores riscos e alguns problemas de qualidade de água podem ser superados por práticas agronômicas sustentáveis.

Dentre as vantagens da reutilização de águas residuárias de acordo com (BOWER, 2000) citam-se:

- 1 - Recuperação e economia de água considerando que o consumo médio *per capita* de água é de 150 - 200 l/hab.dia;
- 2 - redução nos gastos com fertilizantes químicos e os custos na produção agrícola;
- 3 - aumento da fertilidade dos solos devido à presença, nos esgotos brutos, de nutrientes essenciais às plantas como o nitrogênio (10-100 mg L⁻¹), o fósforo (5-25 mg L⁻¹) e o potássio (10-40 mg L⁻¹), além dos microelementos;
- 4 - aumento da produção agrícola;
- 5 - a formação de húmus em consequência da mineralização lenta da matéria orgânica dos esgotos, exercendo forte influência nas propriedades físicas do solo, como a retenção de água;
- 6 - proteção ambiental com a redução ou eliminação da eutrofização dos recursos hídricos e assim destiná-los somente para fins potáveis;

Na Tabela 1 estão dados de concentração de mostra as características dos efluentes domésticos secundários quanto à sua constituição; em geral, a irrigação com água de esgotos sanitários exerce efeitos benéficos ao solo com a incorporação de matéria orgânica, porém, este aspecto também deve ser monitorado e controlado. Existe uma estreita relação entre a matéria orgânica disponível no solo e a desnitrificação; podendo o carbono orgânico induzir à desnitrificação, causando graves perdas de NO₃⁻ (FEIGIN et al.,1991).

Tabela 1. Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio em alguns fertilizantes orgânicos

Conteúdo de Nutrientes (% de matéria seca)			
	Nitrogênio Total	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fezes humanas frescas	10,4 - 13,1	2,7 - 5,1	2,1 - 3,5
Estrume bovino fresco	0,3 - 1,9	0,1 - 0,7	2,1 - 3,5
Estrume de suínos	4 - 6	3 - 4	2,5 - 3
Estrume de aves	6	5	2,7
Resíduos vegetais	1 - 11	0,5 - 2,8	1,1 - 11

Fonte: Strauss & Blumenthal (1989).

Dentre as desvantagens, são citadas:

- 1 - excesso de nitrogênio pode comprometer culturas pouco tolerantes;
- 2 - elevados teores de sais dissolvidos podem provocar a salinização do solo;
- 3 - presença de íons específicos (sódio, boro e cloretos) pode provocar toxidez em algumas culturas;
- 4 - riscos à saúde do trabalhador e usuário dos produtos irrigados, devido à contaminação com microorganismos patogênicos presentes nos esgotos.

A investigação científica do reuso visa maximizar as vantagens e minimizar os potenciais inconvenientes do uso de águas residuárias domésticas na agricultura. Os estudos experimentais devem ser direcionados para os aspectos sanitários, especialmente aqueles relacionados com a contaminação do solo, das águas subterrâneas, das culturas irrigadas e também sobre a avaliação da qualidade e produção das culturas (KONIG e CEBALLOS, 1997).

3.7. Características dos efluentes tratados

Há poucas regiões do mundo ainda livres dos problemas da perda de fontes potenciais de água doce, da degradação da qualidade da água e poluição das fontes de superfície e subterrâneas. Os problemas mais graves que afetam a qualidade da água de rios e lagos decorrem, em ordem variável de importância, segundo as diferentes situações, de esgotos domésticos tratados de forma inadequada, controles inadequados dos efluentes industriais, perda e destruição das bacias de captação, localização errônea de unidades industriais, desmatamento, agricultura migratória sem controle e práticas agrícolas deficientes (PEIXINHO e LEAL, 1996)

As águas residuárias podem ser classificadas como doméstica, industrial e agrícola, em função da sua origem. A quantidade de efluente doméstico produzido é dependente do padrão de vida das pessoas, das condições climáticas e da estação do ano e suas características químicas são influenciadas pela fonte de água, sistemas de esgoto, tipo de estação de tratamento (concepção do tratamento) e natureza de descarga industrial dentro do sistema municipal de esgoto (FEIGIN et al., 1991).

Embora o conteúdo de nutrientes presentes nos resíduos (inclusive águas residuárias) os deixe atrativos para serem utilizados como fertilizantes, aplicações ao solo

de certos resíduos industriais e de esgoto têm sido restritiva pela presença de metais pesados, certos compostos químicos orgânicos de alto risco, sais e valores extremos de pH (CAMERON et al.,1997). Assim é de fundamental importância separar esgoto doméstico de esgoto industrial, uma vez que os metais pesados e orgânicos não são, em geral, problemas nos efluentes domésticos (FEIGIN et al., 1991).

O uso do efluente de esgoto tratado como fonte de água para irrigação pode, resumidamente, diferir da água convencional, segundo Bouwer e Chaney (1974) e Feigin et al. (1991), em quatro aspectos básicos:

1 -Apresentam uma variedade de compostos orgânicos naturais e sintéticos, geralmente não identificados individualmente. Normalmente são materiais orgânicos biodegradáveis, expressos em índices de DBQ e DQO. Os compostos orgânicos mais comuns existentes nos efluentes são: éter extraível, proteínas, carboidratos, taninos, ligninas, diferentes ácidos orgânicos (flúvicos, húmicos e hematomelânicos), aminoácidos e surfactantes. O efluente também pode conter traços de substâncias tóxicas como pesticidas. No entanto, as informações disponíveis não indicam ocorrência de problemas de saúde relatado pela presença de certos compostos orgânicos na água municipal reciclada.

2 -O uso municipal de água residuária causa invariavelmente aumento na concentração de sais inorgânicos solúveis na água. A princípio, os íons Na^+ , Cl^- e HCO_3^- . Esses íons geram um aumento no conteúdo total de sais (salinidade) e na sodicidade da água. Os HCO_3^- e CO_3^{2-} podem aumentar o risco de sodicidade da água por ocasionar precipitação do carbonato de cálcio. Em pH menor que 8,4 predomina HCO_3^- e em pH maior que 8,4 predomina CO_3^{2-} . A concentração de HCO_3^- no efluente de esgoto tratado tem sido muito maior que no suprimento de água original (em Israel, por exemplo, é duas vezes maior). Diferentemente de compostos orgânicos, os sais inorgânicos não são facilmente removidos durante os processos convencionais de tratamento e reciclagem, exceto para alguns carbonatos precipitados.

3- Os efluentes contêm diferentes teores de macronutrientes, especialmente N e P. O nitrogênio ocorre sob as formas: N – orgânico, N-NH_4^+ , N-NO_3^- e N-NO_2^- . O N-NO_2^- raramente apresenta concentrações superiores a $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ devido a fácil oxidação para N-NO_3^- na presença de O_2 . O N-NO_3^- varia de $0-10 \text{ mg L}^{-1}$. No entanto, a maior parte do N nos efluentes municipais encontra-se na forma reduzida, principalmente N-NH_4^+ . Os

efluentes contem várias formas de P: P-orgânico, fosfatos condensados (piro, meta e polifosfatos e ortofosfatos). O P-orgânico é resultante de processos biológicos e os fosfatos condensados são adicionados pela disposição de produtos químicos de lavanderias (detergentes) na água de esgoto.

4- Microrganismos patogênicos (bactérias e vírus) estão presentes nas águas residuárias, apesar de suas concentrações nos efluentes serem grandemente reduzidas durante o processo normal de tratamento. Protozoários, como *Endamoeba histolytica*, parasitos e helmintos também podem estar presentes nos efluentes de esgoto. As bactérias patogênicas comumente encontradas nas águas residuárias são *Salmonella*, *Shigella*, *Mycobacterium* e *Vibrio comma*.

De acordo com Miranda (2001), a principal vantagem da utilização de águas residuárias na irrigação reside na recuperação de um recurso da maior importância na agricultura – a água. Além disso, os constituintes das águas residuárias, ou pelo menos sua maioria, são produtos que podem aumentar a fertilidade dos solos por conter nutrientes essenciais à vida das plantas. Por outro lado, melhoram também a aptidão agrícola dos solos, devido à matéria orgânica que lhes adicionam com a consequente formação de húmus. A reutilização de águas residuárias oferece ainda vantagens do ponto de vista da proteção do ambiente na medida em que proporciona a redução ou mesmo a eliminação da poluição dos meios hídricos habitualmente receptores dos efluentes. Paralelamente, dá-se a recarga dos aquíferos, beneficiados com a melhoria de qualidade da água derivada da depuração proporcionada aos efluentes através da percolação no solo.

3.8. Aspecto sanitário do reuso de águas na agricultura

Em nível internacional prevalecem hoje duas abordagens distintas: uma que se fundamenta no conceito de “risco potencial” e uma outra que se fundamenta no conceito de “risco real”. Faz parte da “sabedoria popular” e da educação formal o conceito de que o contato com os esgotos implica riscos à saúde. Esta associação tem como base a idéia de “risco potencial”, ou seja, que a mera presença de microorganismos patogênicos nos esgotos está associada com sua transmissão e, portanto põe em perigo a saúde da população (causa - efeito).

Este “risco potencial” se fundamenta, principalmente, nos dados do tempo de sobrevivência dos patógenos nas fezes, na água, nos solos e nas culturas (BLUM e FEACHEM, 1985).

No uso de águas residuárias para irrigação, os contaminantes de importância para a saúde pública são biológicos (vermes, protozoários, bactérias e vírus, patogênicos). Contaminantes químicos não são relevantes, exceto em despejos de certas indústrias. Preocupa a quantidade de patogênicos presentes nos esgotos sanitários e os riscos à saúde. A probabilidade de uma pessoa (ou várias) contrair uma doença através de uma certa “rota de transmissão”, depende da concentração inicial de patogênicos, da latência, da persistência e da capacidade de multiplicação dos mesmos, na “rota”, para que constituam dose infectiva e, além disso, da suscetibilidade da pessoa (KONIG e CEBALLOS, 1997).

Reduzir a concentração de patogênicos, nas águas residuárias, a certo nível, é perfeitamente possível, através de técnicas conhecidas de tratamento, capazes de propiciar qualquer grau de remoção de patógenos. O grau de tratamento seria determinado em função do risco real de ocorrerem infecções. Dependendo do tipo de planta irrigada, de sua utilização e da técnica de irrigação empregada, haverá maior ou menor possibilidade de contato entre pessoas e agentes patogênicos (KONIG e CEBALLOS, 1997).

3.9. Efeitos nos atributos químicos do solo

Durante as duas últimas décadas do século XX, o uso de água superficial poluída com esgoto domésticos para irrigação das culturas, aumentou significativamente, em razão dos seguintes fatores: dificuldade crescente de se identificar fontes alternativas de águas para irrigação; custo elevado de fertilizantes; a segurança de que os riscos de saúde pública e impactos sobre o solo serão mínimos, se as precauções adequadas forem efetivamente tomadas; os custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para descarga de efluentes em corpos receptores; a aceitação sociocultural da prática do reuso agrícola e reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática (HESPANHOL, 2002).

Normalmente, o pH da água de irrigação não tem afetado significativamente o pH do solo, por causa de seu poder tampão. Assim, não é de se esperar efeito direto do efluente no pH do solo, mesmo com a ocorrência generalizada de HCO_3^- (uma das formas presentes

de alcalinidade) nas água superficiais poluídas. No entanto, existe a possibilidade dessa alcalinidade associada às altas concentrações de Na^+ e CO_3^{2-} , em água alcalinas, ocasionar aumento do valor de pH do solo (BOUWER; IDELOVICH, 1987).

Os efeitos da aplicação de água superficial poluída nas propriedades físicas do solo, só são pronunciados após períodos de aplicação, pelos parâmetros que definem sua composição física e química, pelas condições de clima e pelo tipo de solo. Ayers e Westcot (1999) relatam que a limitação principal do uso de águas residuárias na agricultura é a sua composição química (totais de sais dissolvidos presença de íons tóxicos e concentração relativa de sódio) e a tolerância das culturas a este tipo de efluente.

No trabalho de Day et al. (1979), a irrigação com efluente de esgoto tratado não alterou o pH de um solo de região semiárida, naturalmente alcalino. Por outro lado, Vazquez-Montiel et al. (1996) verificaram diminuição do pH em solo cultivado com milho e irrigado com efluente de esgoto tratado. Os autores sugeriram que essa queda no pH do solo foi devido à nitrificação, uma vez que esse efeito foi incrementado mediante a adição de fertilizante nitrogenado mineral (sulfato de amônio).

Em solos tratados com resíduos biodegradáveis (como esgoto domésticos), mediante a degradação dos materiais pelos microrganismos, pode haver diminuição no valor de pH do solo devido à produção de CO_2 e ácidos orgânicos (BOUWER e CHANEY, 1974).

3.10. Água superficial poluída- solo- planta

Tem sido observado, em sistemas agrícolas, pastagens e florestas, incremento no valor de pH do solo, mediante irrigação com água superficial poluída. O aumento de pH tem sido atribuído à acidez alta do efluente, à adição de cátions trocáveis e de ânions oriundos do efluente, à alteração na ciclagem de nutrientes, levando à redução do NO_3^- para NH_4^+ e à do nitrato, cujos processos produzem íons OH^- e podem consumir prótons (STEWART et al., 1990). Apesar do efluente de esgoto tratado poder contribuir para elevação do pH do solo, tanto na camada superficial como no subsolo, mais pronunciadamente em solos que receberam aplicação de efluentes por vários anos, o aumento de pH é muito pequeno, da ordem de 0,1 a 0,8 unidades (SMITH et al, 1996).

Desse modo, os efeitos do aumento do pH do solo, mediante adição de efluente de esgoto, em solos de baixa fertilidade natural, têm sido desprezíveis e de pouca importância prática com relação à disponibilidade de nutrientes. Então, não é de se esperar que o HCO_3^- ou certos compostos orgânicos, presentes na água superficial poluída, em concentrações variáveis, possa substituir a prática da calagem, apesar desse aumento de alcalinidade ser considerado vantajoso, pelo fato de diminuir a mobilidade de metais pesados no solo (STEWART et al., 1990).

3.11. Salinidade e sodicidade

As águas eliminadas por transpiração pelas plantas e aquelas transferidas à atmosfera, por evaporação do solo e das superfícies de água, são livres de sais. A água infiltrada no perfil do solo contém a maioria dos sais deixados pelo consumo de água e contém uma concentração de sais maior que a da água inicialmente aplicada. Isso se deve ao efeito da concentração, que também pode resultar da derivação de água de bacias altas, movendo-se através do perfil do solo, podendo dissolver sais oriundos da intemperização dos minerais do solo. Alguns sais reagem com outras substâncias químicas no solo e são precipitados, ocorrendo, simultaneamente, trocas entre alguns íons na água e no solo. Sais adicionais podem ser captados por infiltração profunda, à medida que a água for atravessando os estratos salinos, a caminho do sistema de drenagem (LAW e BERNARD, 1970).

Normalmente, pelo fato do efluente de esgotos ser salino, a irrigação com água superficial poluída tem levado ao aumento da salinidade do solo (SMITH et al., 1996), a qual pode afetar a absorção de água pelas plantas devido à presença de uma maior concentração dos íons Na^+ , Cl^- e HCO_3^- na solução do solo (BIELORAI et al., 1984). Entretanto, alguns autores têm assinalado diminuição na salinidade do solo, pela irrigação com efluente (STEWART et al., 1990); no primeiro caso, tratava-se de um solo naturalmente salino; no segundo, os autores verificaram que, em um solo florestal irrigado com efluentes de esgoto, tratados por mais de quatro anos, a salinidade foi reduzida devido à lixiviação e à absorção de sais pelas árvores.

O aumento da condutividade elétrica (CE) do solo, mediante uso da irrigação com efluente, tem sido comum em sistemas agrícolas, pastagens e florestas (SMITH et al., 1996), mais pronunciadamente na camada superficial do solo (AL-NAKSHABANDI et al., 1997). Esse aumento de salinidade, mais evidente na camada superficial do solo, pode ser, segundo esses autores, devido a dois fatores: evaporação da superfície do solo, levando ao acúmulo de sais; exposição do subsolo à contínua lixiviação e substituição dos sais na periferia da zona úmida, na qual, normalmente, há aumento na concentração de sais.

Balks et al. (1998) verificaram, em solos florestais irrigados com efluente rico em Na, por cinco anos, incremento do PST de 2 para 25%. Os autores constataram aumento da PST, maior que o previsto pela RAS (razão de adsorção de sódio), devido à irrigação com efluente (AYERS e WESTCOT, 1999). Esse aumento na sodicidade do solo contribuiu para que ocorresse dispersão de argila. Apesar disso, a diminuição na CH (Condutividade Hidráulica) do solo foi pequena, não afetando o fluxo de água. Segundo os autores, esse aumento na PST, associado à pequena redução na CH do solo, não teve nenhuma ameaça para a continuidade da irrigação com efluente, por não ter sido revolvido o solo. Porém, a hipótese de ocorrência desse tipo de problema não pode ser descartada em experimentos de longa duração.

A salinidade da água superficial poluída com águas residuárias pode impactar, tanto o próprio solo como influenciar o crescimento das plantas irrigadas, ao longo do tempo. A presença de sódio pode afetar diretamente as propriedades do solo, com os fenômenos do inchamento e da dispersão. As razões para essas variações são complexas e envolvem propriedades geofísicas do solo, a densidade, o pH, estresses mecânicos e agentes obrigatórios agregados, tais como ferro, óxidos de alumínio e matéria orgânica (POMPEO e NOLASCO, 2007).

De acordo com Asano (1996), um dos aspectos mais importantes da salinidade sobre os cultivos é a redução da absorção de água pelas raízes das plantas, pela redução da condutividade hidráulica. De modo geral, a maioria das águas residuárias tratadas não são muito salinas; a taxa de salinidade varia entre 200 e 500 mgL⁻¹, entretanto, a salinidade é um aspecto que deve ser considerado na tolerância das culturas. Algumas espécies possuem tolerância à salinidade maior que outras. Por essa razão, deve-se escolher uma cultura para ser irrigada com água de reuso que seja tolerante ou, pelo menos, moderadamente tolerante

à salinidade, para que se possam manter os rendimentos em níveis aceitáveis, pois níveis de salinidade, maiores do que a cultura pode suportar, reduzem a taxa de seu crescimento.

As águas se dividem em quatro classes de salinidade, à medida que aumenta a concentração de sais e, conseqüentemente, sua condutividade elétrica, recebendo denominações sucessivas de C1, C2, C3 e C4, com limites apresentados por Richards (1977), pela Universidade da Califórnia (University of Califórnia Committee of Consultants - UCCC), e por Ayers e Westcot (1999), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade.

Classe de salinidade	Richards (1977)	UCCC ¹ (1977)	Risco de salinidade	Ayers e Westcot (1999)	
	Faixas de CEai (dS m ⁻¹)			Faixas de CEai (dS m ⁻¹)	Risco de salinidade
C1	< 0,25	< 0,75	Baixo	< 0,70	Nenhum
C2	0,25 – 0,75	0,75 – 1,50	Médio	0,70 – 3,00	Moderado
C3	0,75 – 2,25	1,50 – 3,00	Alto	> 3,00	Severo
C4	> 2,25	> 3,00	Muito alto	-	-

Fonte: Ayers e Westcot (1999); UCCC (1977) – University of California Committee of Consultants

De acordo com Richards (1977), a salinidade afeta as culturas de duas maneiras:

1. Pelo aumento do potencial osmótico do solo: quanto mais salino, maior será a energia gasta pela planta para absorver água e, com ela, os demais nutrientes essenciais;
2. Pela toxidez de determinados elementos, principalmente sódio, boro e os bicarbonatos e cloretos, que em concentrações elevadas causam distúrbios fisiológicos nas plantas.

3.12. Qualidade da água na agricultura

A água é fator de fundamental importância para produção de alimentos, especialmente sob condições irrigadas. A prática da irrigação, em muitas situações, é a única maneira de se garantir a produção agrícola com segurança, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como é o caso do semiárido do Nordeste brasileiro, onde ocorre déficit hídrico para as plantas, pelo fato de a taxa de evapotranspiração exceder a de precipitação, durante a maior parte do ano.

A qualidade da água de irrigação é determinante, não somente em função de suas características físicas, químicas e biológicas, como, também, da adequação ao uso específico a que se destina (AYERS e WESTCOT, 1999). Tal necessidade exige conhecimento prévio, não só de suas propriedades, mas, também, dos efeitos e riscos à saúde e ao meio ambiente.

A quantidade de sais adicionados à água, através do uso doméstico e industrial, variam de acordo com a localidade, podendo chegar de 100 e 800 mg L⁻¹; em uma mesma localidade, as variações são pequenas, mas, mesmo em concentrações relativamente baixas, em algumas situações, são suficientes para alterar a qualidade da água de aceitável para restritiva, do ponto de vista agrícola (FEIGIN et al., 1991).

Bouwer e Chaney (2000) relatam que os sais dissolvidos em águas residuárias interagem com o solo por meio de troca iônica, dispersão e floculação de argilas. Quando presentes no solo ou na água, eles podem reduzir a disponibilidade de água para as culturas, afetando o rendimento (AYERS e WESTCOT, 1999). Maiores concentrações de sais na solução do solo podem ocorrer se a quantidade de água superficial poluída adicionada (mais a precipitação) não for muito maior que a evapotranspiração (BOUWER e CHANEY, 2000).

Para Ayers e Westcot (1999), na utilização de esgotos na agricultura, devem ser levadas em consideração as características físico-químicas e biológicas das águas, que se refletem na produtividade e qualidade das culturas, na manutenção da fertilidade do solo e na proteção do homem e do meio ambiente. Entre os contaminantes de esgotos que podem degradar a qualidade dessas águas estão os sais, os nutrientes e os traços de elementos químicos, os quais estão relacionados com os principais problemas no solo, como salinidade, permeabilidade, toxicidade de íons específicos e concentração de nutrientes.

Os esgotos sanitários possuem teores de macro e micronutrientes suficientes para o atendimento da demanda da maioria das culturas; assim, a irrigação das culturas, através de corpos d'água que recebem lançamentos de esgotos sanitários, pode ser considerada uma fertirrigação (NUVOLARI, 2003). Para as culturas sensíveis, o máximo recomendado de cloreto na água de irrigação é de 210 mg L⁻¹. Teores de 99 mg L⁻¹ de cloretos, na água de irrigação, não acarretam qualquer efeito prejudicial, enquanto teores acima de 351 mg L⁻¹ podem causar problemas graves (MANCUSO e SANTOS, 2003).

O tratamento de esgotos padrão não remove o cloreto do efluente, devido à elevada solubilidade dos compostos de cloro. As tecnologias de dessalinização para remover cloro são muito caras e, comumente, os níveis de cloro nos efluentes municipais secundários permanecem abaixo daqueles considerados prejudiciais, para a maioria das culturas agrícolas; no entanto, altas concentrações desse elemento no efluente de esgoto, como em outras fontes de água, podem atingir águas subterrâneas (FEIGIN et al., 1991). O cloreto não é retido ou adsorvido pelas partículas do solo, através do qual se desloca facilmente com a água nele contida, porém, é absorvido pelas raízes e translocado às folhas, onde se acumula pela transpiração. Dependendo do tipo de irrigação utilizada, pode ocorrer maior ou menor intensidade de absorção do cloreto; caso sua concentração exceda a tolerância da planta, pode causar redução das taxas de crescimento e produzir danos com seus sintomas característicos, como necrose e queimadura nas folhas. Na Tabela 3 observam-se alguns atributos dos afluentes domésticos secundários.

Tabela 3. Atributos de efluentes domésticos secundários

Atributos	Unidade	Concentração
Sólidos totais	mg L ⁻¹	400-1200
Sólidos totais suspensos	mg L ⁻¹	10-100
Sólidos totais dissolvidos	mg L ⁻¹	400-1000
Demanda química de oxigênio - DQO	mg L ⁻¹	100-180
Carbono orgânico dissolvido - COD	mg L ⁻¹	30-160
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	10-50
Nitrogênio- nitrato	mg L ⁻¹	0-10
Nitrogênio- amônio	mg L ⁻¹	1-40
Fósforo total	mg L ⁻¹	6-17
Cloretos	mg L ⁻¹	40-200
Alcalinidade (carbonato de cálcio)	mg L ⁻¹	200-700
Sódio	mg L ⁻¹	50-250
Potássio	mg L ⁻¹	10-50
Cálcio	mg L ⁻¹	20-120
Magnésio	mg L ⁻¹	10-50
Boro	mg L ⁻¹	0-1
pH	mg L ⁻¹	7,8-8,1
Relação de adsorção de sódio – RAS	(mg L ⁻¹) ^{1/2}	4,5-7,9

Fonte: FEIGIN et al. (1991).

3.13. Recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) quanto ao uso de águas residuárias na agricultura

Em 1978, o Departamento de Saúde Pública do Estado da Califórnia, EUA, publicou a norma “*Wastewater Reclamation Criteria*”, na qual era exigido que efluentes de estação de tratamento de esgotos, utilizados para irrigação de culturas, a serem consumidas por seres humanos, contivessem número de coliformes fecais menor que 2,2 ufc/100mL. No caso de pastagens para animais leiteiros, a água superficial poluída utilizada não deveria conter mais de 23 coliformes fecais por 100mL (OMS, 1989).

Com base em estudos posteriores, sobre a evidência da transmissão de doenças, através do uso de águas residuárias na agricultura (SHUVAL *et al.*, 1986), ficou demonstrado que os padrões microbiológicos, adotados no Estado da Califórnia, eram mais rígidos do que o necessário para se evitar riscos à saúde pública, provocando gastos desnecessários no tratamento dos esgotos. Baseada em tais estudos epidemiológicos, em 1989, a OMS publicou as recomendações “*Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture*”, contendo os padrões microbiológicos para uso de águas residuárias (Tabela 4).

Tabela 4. Qualidade microbiológica de águas residuárias para uso na agricultura.

Condições de reuso	Ovos de nematóides intestinais/L	Coliformes fecais/100 mL	Tratamento de esgotos sugerido para se atingir tal padrão microbiológico
Irrigação de culturas que são ingeridas cruas, campos esportivos e parques públicos	< 1	≤ 1000	Uma série de lagoas de estabilização projetada para atingir o padrão desejado ou tratamento equivalente
Irrigação de culturas cerealíferas, a serem industrializadas, forrageiras, pastoris e arbóreas	< 1	—	Uma série de lagoas de estabilização com tempo total de 8 – 10 dias ou tratamento equivalente
Irrigação localizada de culturas da categoria anterior quando não ocorre exposição humana	—	—	Não menos que sedimentação Primária

Fonte: WHO (1989)

3.14. Pinhão-manso

A denominação científica “*Jatropha*”, em grego, significa medicamento. De fato, sua semente era usada como vermífugo ou purgante de animais. O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), também conhecido como pinhão branco, pinhão do Paraguai, purgueira, pinhãode-purga, grão-de-maluco, pinhão-de-cerca, turba, tartago, medicineira, tapete, siclité, pinhão do inferno, figo do inferno, pinhão das barbadass, sassi, etc, (TOMINAGA et al., 2007).

É uma espécie arbustiva da família das Euforbiáceas, possivelmente originária da América, ocorrendo de forma espontânea em diversos estados do Brasil. Segundo Heller (1996), aqui a espécie foi introduzida no início da colonização e, atualmente, encontra-se dispersa por todo o país. Recentemente, a cultura do pinhão manso passou a ter destacada importância no cenário nacional, como uma espécie vegetal, potencialmente capaz de contribuir para a produção de energia renovável, além de ser adequada para produção em pequenas propriedades, contribuindo, desta forma, para o desenvolvimento da agricultura em base familiar (CALLE et al., 2005).

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) está sendo considerado uma opção agrícola para esta região por ser uma espécie nativa, exigente em insolação e com forte resistência à seca. As perspectivas favoráveis da implantação racional dessa cultura decorrem, não somente dos baixos custos de sua produção agrícola, conforme se deve esperar diante das vantagens anunciadas, mas, sobretudo, porque poderão ocupar solos pouco férteis e arenosos, de modo geral inaptos à agricultura de subsistência, proporcionando, dessa maneira, uma nova opção econômica as regiões carentes do país, principalmente na agricultura familiar (MAKKAR et al., 1997).

Uma das principais vantagens do pinhão manso é o seu longo ciclo produtivo que pode chegar a 40 anos (AZEVEDO, 2006). Por ser perene, também contribui para a conservação do solo e reduz o custo de produção, fator importante para sua viabilidade econômica, especialmente na agricultura familiar. É uma espécie nativa da América tropical e naturalizada em partes tropicais e subtropicais da Ásia e África (AUGUS et al., 2002; ARRUDA et al., 2004).

Parte significativa do Nordeste é semiárida, com evaporação média anual superior a 2.000mm, temperatura média elevada (23 a 27 °C), grande insolação (média de 2.880

h/ano) e precipitações pluviiais bastante irregulares, em torno de 500 a 600 mm/ano, tendo assim poucas opções agrícolas rentáveis, que sustentem os produtores nas áreas rurais (SUDENE, 1996).

Com a possibilidade do uso do óleo do pinhão manso para a produção do biodiesel, abrem-se amplas perspectivas para o crescimento das áreas de plantio com esta cultura no semiárido nordestino.

3.14.1. Importância econômica e cultural

O alto teor de óleo das sementes de pinhão manso, entre 35 e 38%, aliado à característica de queimar sem liberar fumaça, fez dele um dos mais conhecidos bicomustíveis de origem tropical. Resultados com o óleo extraído do pinhão manso, comparando-o com o diesel: o óleo tem 83,9% do poder calorífico do óleo diesel em um motor diesel, para gerar a mesma potência, ruído mais suave e poluição bem menor (ADAM, 1974; STIRPE et al., 1976; MAKKAR et al., 1997).

Até antes da segunda Guerra Mundial, em 1939, o principal emprego do óleo de pinhão manso era utilizado na saboaria e na fabricação de estearina, mas devido, às necessidades militares, outras possíveis utilizações começaram a ser estudadas. Não pode, contudo, ser utilizado como lubrificante, devido a sua baixa viscosidade e grande porcentagem de ácidos graxos impróprios, que podem provocar rápida resinificação; no entanto, pesquisas levaram a conclusão de que esse óleo pode também ser utilizado como combustível nos motores diesel, o qual se comporta bem, sem qualquer tratamento prévio especial e com quase igual potência à conseguida como gasoil. Contudo, o consumo é evidentemente maior, devido à diferença dos poderes caloríficos (CORTESÃO, 1956).

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

É utilizado na indústria de fiação de lã, de tinta para escrever, tinta de impressão e tintas para pintura, além de ser utilizado como óleo de lustrar e quando cozido, misturado com óxido de ferro, utilizado para envernizar móveis, no entanto, seu maior emprego ainda é nas saboarias (MAKKAR et al., 1997).

Além de produzir óleo, o pinhão manso também pode ser utilizado para outros fins, tais como: a) substituição parcial do arame em cercas vivas, já que os animais evitam tocá-lo devido ao látex cáustico que escorre das folhas arrancadas ou feridas; b) pode ser usado como suporte para plantas trepadeiras como a baunilha (*Vanilla aromática*), visto que o tronco possui casca lisa e macia e c) atua como fixador de dunas na orla marítima (PEIXOTO, 1973). Conforme o mesmo autor, na medicina doméstica, aplica-se o látex da planta como cicatrizante hemostático e, também, como purgante. As raízes são consideradas diuréticas e anti-leucêmicas e as folhas são utilizadas para combater doenças de pele. São eficazes também contra o reumatismo e possui poder anti-sifilítico. As sementes são utilizadas como purgativo. Atribuem-se as propriedades tóxicas do pinhão a uma globulina, a curcasina e, também, ao ácido jatrópico de toxicidade igual ou superior a ricinina.

O óleo produzido pelo pinhão manso possui todas as qualidades necessárias para ser transformado em óleo diesel; as sementes colhidas se conservam por longo período. Pode ser cultivada nas pequenas propriedades, com a mão-de-obra familiar disponível, como acontece com a cultura da mamona, na Bahia, sendo mais uma fonte de renda para as propriedades rurais da região Nordeste (PURCINO e DRUMMOND, 1986).

O pinhão manso, além de ser excelente fornecedor de óleo vegetal para o biodiesel, está sendo estudado para a recuperação de áreas degradadas pela mineração exposta e para o reflorestamento de áreas desmatadas (TOMINAGAN et al. 2007).

Essa planta vem recebendo destaque principalmente pelo seu alto teor de óleo em relação à semente. Com a possibilidade da utilização do óleo de pinhão manso na produção de biodiesel, torna-se indispensável a domesticação dessa espécie, para se obter uma produtividade satisfatória (SATURNINO et al., 2005).

A distribuição geográfica do pinhão manso é bastante vasta, devido à sua rusticidade, resistência a longas estiagens, bem como às pragas e doenças, sendo adaptável a condições edafoclimáticas muito variáveis. Desenvolve-se bem tanto em regiões tropicais

secas como nas zonas equatoriais úmidas, assim como em terrenos áridos e pedregosos podendo suportar longos períodos de seca (ARRUDA et al., 2004).

O pinhão manso se adapta a altitudes baixas, como o nível do mar, até altitudes próximas a 1000 metros (SATURNINO et al.,2005). Seu cultivo é mais indicado em regiões com altitude entre 500 e 800 m. Em terrenos de encosta, áridos e expostos ao vento, se desenvolve pouco, não ultrapassando os 2 m de altura (CORTESÃO, 1956; PEIXOTO, 1973; DIAS et al., 2007).

3.14.2. Clima e solo

Em regiões semiáridas, a floração de pinhão-manso ocorre de três a quatro vezes, por ano, podendo chegar a mais de seis vezes nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, embora o excesso de chuva no período da colheita possa dificultá-la (TOMNAGA et al., 2007). A planta tolera condições de precipitação pluviométricas de 480 a 2.380 mm/ano, sendo a produtividade bastante afetada pela irregularidade na distribuição das chuvas e pelos ventos fortes e prolongados na época da floração (SATURNINO et al., 2007); melhor desenvolvimento acontece sob temperatura média de 18 a 28 °C e precipitação acima de 800 mm anuais, bem distribuída (DIAS et al., 2007). Para uma produção adequada, o ideal é haver precipitações pluviais acima de 600 mm/ano, e temperaturas médias anuais de 18,0 a 28,5 °C (TOMINAGA, et al., 2007).

De acordo com Peixoto (1973) e Brasil (1985), apesar de pouco exigente a condições climáticas e solo fértil, adaptando-se facilmente a variadas condições, o pinhão manso deve, preferencialmente, ser cultivado em solos profundos, bem estruturados e pouco compactados, para o sistema radicular se desenvolver e explorar maior volume de solo, satisfazendo a necessidade da planta em nutrientes. Devem ser evitados os solos muito argilosos, rasos, com umidade constante, pouco arejados e de difícil drenagem; a planta não tolera áreas encharcadas ou alagadiças.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas instalações da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola / CTRN / UFCG, em Campina Grande - PB, com as coordenadas geográficas 7°15'18" de latitude Sul, 35°52'28" de longitude Oeste do meridiano de Greenwich e altitude de 550m.

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, adaptada ao Brasil (COELHO e SONCIN, 1982), é mesotérmico semi-úmido, com verão quente e seco (4 a 5 meses) e chuvas de outono e inverno.



Figura 1. Imagem de satélite da área experimental, Campina Grande - PB

4.1. Área experimental e tratamentos

O trabalho foi instalado em lisímetros de drenagem, num total de 20, conforme descritos em sub-item posterior.

Em cada lisímetro cultivou-se uma planta, irrigada com água superficial poluída, proveniente de um córrego que faz parte do sistema de drenagem da cidade e atravessa o campus da UFCG, desaguando no açude de Bodocongo. Foram testados 5 níveis de reposição da evapotranspiração (N_r), com 4 repetições, com base no balanço hídrico dos

lisímetros, adotando-se os índices: $Nr_1 = 0,25$; $Nr_2 = 0,50$; $Nr_3 = 0,75$; $Nr_4 = 1,00$ e $Nr_5 = 1,25$, considerando-se Nr_4 como referência.

Croqui da área experimental

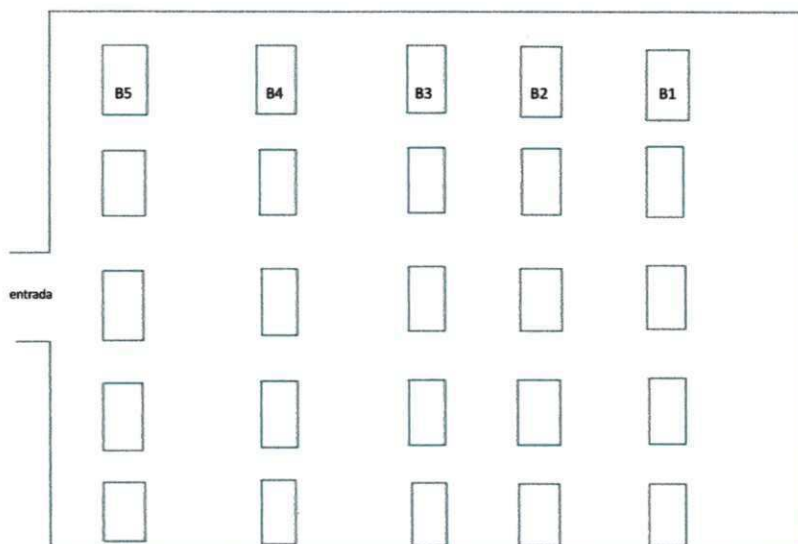


Figura 2. Croqui da área experimental. Campina grande-PB 2009

B1= Bloco com plantas de 25% da evapotranspiração
B2= Bloco com plantas de 50% da evapotranspiração
B3= Bloco com plantas de 75% da evapotranspiração
B4= Bloco com plantas de 100% da evapotranspiração
B5= Bloco com plantas de 125% da evapotranspiração

4.2. Formação de Mudanças

As mudas foram produzidas em tubetes (200 cm^3), na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, utilizando-se de sementes da seleção 'FT- 02', cedidas pelo Instituto Fazenda Tamanduá, localizado no município de Santa Terezinha – PB.

As sementes foram coletadas de uma única planta, para se diminuir a variabilidade genética. Foi realizada uma seleção para a eliminação de sementes defeituosas ou com danos mecânicos no dia 07/04/2008 e, em seguida, um teste de germinação, obtendo-se um

resultado de 89%. Antes da semeadura, as sementes foram pré-embebedas em laboratório para realizar a quebra de dormência e facilitar a germinação, logo após foram semeadas nos tubetes, preenchidos com substrato orgânico esterilizado, aproximadamente, a 2 cm de profundidade; a umidade foi mantida em capacidade de campo para possibilitar a seleção das plantas mais vigorosas, por ocasião do transplântio para os lisímetros, que aconteceu aos 30 dias após semeadura.

4.3. Construção e preparação dos lisímetros

Foram construídos 20 lisímetros de drenagem (Figura 1), em fibra de vidro, com paredes de 1 cm de espessura e dimensões de 1,60 m de comprimento, 0,90 m de largura e profundidade de 0,70 m, totalizando 1,01 m³ de volume. O espaçamento entre lisímetros foi de 1,20 m entre blocos e de 1,0 m na mesma linha (mesmo bloco).



Figura 3. Área experimental com os lisímetros de drenagem. Campina Grande-PB,2009

O material de solo, para preenchimento dos lisímetros, foi coletado nas proximidades da UFCG, em área com ocorrência natural de outra espécie, a de pinhão-bravo. Os lisímetros foram nivelados recebendo no fundo da caixa uma camada de brita zero e outra camada de areia lavada, revestidas por uma manta de “Bidim OP-20”. Depois, foram preenchidos com material de solo, obedecendo aos perfis originais do local. Na parte inferior do lisímetro, foi inserido um dreno de PVC, com diâmetro de 25 mm, conectado a um local de coleta para todos os lisímetros, para avaliação do balanço hídrico.

Croqui da instalação do lisímetros

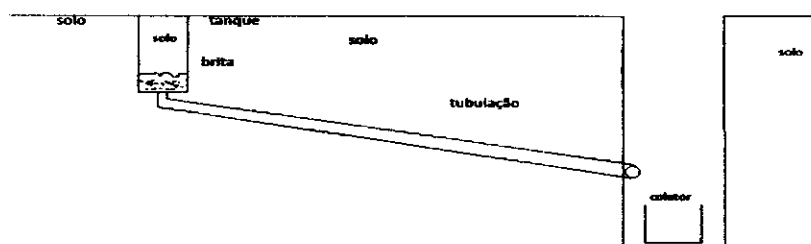


Figura 4. Croqui da instalação do lisímetro

4.4. Irrigação

As irrigações foram feitas obedecendo a um turno de rega de três dias. A água superficial poluída foi coletada diretamente do riacho, com um sistema composto por uma moto-bomba ANAUGER submersa ('bomba sapo'), com potência de 370 W, com mangueira de polietileno $\frac{3}{4}$ e colocada em um reservatório com capacidade de 1000 L, onde era armazenada para depois ser utilizada na irrigação.

O solo de cada lisímetro foi colocado em capacidade de campo, com água de abastecimento, antes de se iniciar as irrigações. Na primeira irrigação foi aplicado, em todos os tratamentos, um volume de 50 litros; posteriormente, o manejo das irrigações se deu através de balanço hídrico, usando-se planilha eletrônica. Durante o período experimental amostras de água superficial poluída foram coletadas e analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade – LIS (Tabela 5), seguindo a metodologia proposta por Richards (1977).

Tabela 5 – Características analisadas da água superficial poluída utilizada no experimento

Características	Amostra 1 (mar/2009)	Amostra 2 (abril/2009)	Amostra 3 (maio/2009)	Média
pH	7,34	7,55	6,88	7,25
C.Elétrica (dS m ⁻¹)	1,32	1,14	1,53	1,33
Cálcio (mg L ⁻¹)	42,70	67,03	54,45	54,72
Magnésio (mg L ⁻¹)	48,06	45,83	39,74	44,54
Sódio (mg L ⁻¹)	137,18	109,58	116,66	121,14
Potássio (mg L ⁻¹)	26,54	23,42	28,75	26,23
Cloretos (mg L ⁻¹)	187,82	159,42	132,35	159,86
Sulfatos (mg L ⁻¹)	62,45	58,32	54,52	58,43
Bicarbonatos (mg L ⁻¹)	491,15	412,67	554,18	486
Carbonatos (mg L ⁻¹)	33,06	37,84	30,51	33,80
Ferro (mg L ⁻¹)	0,56	1,22	0,45	0,74
Oxigênio Consumido (mg L ⁻¹)	27,54	21,17	19,45	22,72
Alcalinidade em Carbonato -CO ₃ (mg L ⁻¹)	55,05	62,10	57,33	58,16
Alcalinidade em Bicarbonato - HCO ₃ (mg L ⁻¹)	402,53	389,12	414,12	402,92
Alcalinidade Total - CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	457,52	359,26	328,55	381,77
Dureza Total - CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	290,85	275,22	283,08	283,05
Relação de Adsorção de Sódio (RAS) (mmol L ⁻¹) ^{1/2}	3,42	2,53	2,92	2,95
Classe da Água	C3	C3	C3	C3

Análise realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG/UAEAg/CTRN.

4.5. Tratamentos e delineamento estatístico

A aplicação dos tratamentos ocorreu dos 210 aos 480 dias após a semeadura (DAS), durante o período de setembro de 2008 a junho de 2009. Foram estudados 5 níveis de reposição de água (Nr1 = 0,25; Nr2 = 0,50; Nr3 = 0,75; Nr4 = 1,00 e Nr5 = 1,25 da evapotranspiração). O experimento foi distribuído em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo a parcela constituída de 1 planta (1 planta/lisímetro), perfazendo o total de 20 lisímetros (5 níveis de reposição da evapotranspiração x 4 blocos).

4.6. Outros tratamentos culturais

Os tratamentos culturais consistiram de adubações de cobertura, adubações foliares e eliminação de folhas pequenas, não funcionais.

As adubações de cobertura foram feitas durante o período experimental em intervalos de 30 dias após 210 dias após o transplante, aplicando-se 10g de sulfato de amônio - (NH₄)₂SO₄, 10g de cloreto de potássio - KCl e 10g de adubo super simples por

planta, posteriormente foi seguido um calendário de adubação de 30 em 30 dias após a primeira aplicação.

As adubações foliares foram realizadas com uma solução de zinco + cobre (0,05%), visando ao controle dos sintomas de deficiência de zinco e cobre, o encarquilhamento. Foram, também, aplicados defensivos para controle de ácaros e cigarrinha verde, cuidando-se para fazer rotação dos agroquímicos com extratos vegetais, objetivando-se evitar o surgimento de resistência.

4.7. Variáveis em estudo

4.7.1. Variáveis de crescimento

A altura das plantas (AP) foi determinada, inicialmente, aos 210 dias após o transplântio (DAT), repetindo-se a cada 30 dias, aos 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 450 e 480, DAT. Essa variável foi determinada com fita métrica (cm), adotando-se como critério de determinação a distância entre o colo da planta e a extremidade do broto terminal do ramo principal.

A variável diâmetro caulinar (DC) foi medida a 5 cm do colo da planta, utilizando-se de um paquímetro digital e ocorreu nos mesmo períodos da avaliação de altura das plantas.

O número de folhas (NF) por planta foi determinado a cada 30 dias entre 210 a 480 DAT, contabilizando todas as folhas da planta verdes e não senescentes, considerando-se as que tivessem tamanho acima de 3cm.

A área foliar (AF) foi determinada por amostragem de 50 folhas por planta, escolhidas aleatoriamente, com tamanho acima de 3 cm, servindo como base para a estimativa do total de folhas, tendo como forma de cálculo a metodologia proposta por Severino et al. (2006):

$$AF = 0,89P^2$$

Em que: AF = área foliar (m²)

P = Comprimento da nervura principal (m)

4.7.2. Variáveis de produção

Os frutos maduros foram coletados, diariamente, obtendo-se o número de frutos (NFr) por planta; após abertos os frutos, as sementes foram postas a secar, ao sol, por 24 horas, sendo transferidas para o interior do laboratório, para continuação da secagem à sombra, por mais 3 dias. Foram obtidos o número e peso das sementes.

O teor de óleo das sementes foi determinado na amostra coletada aos 480 DAT, período final da produção, utilizando-se do método Soxhlet, com base em procedimentos adaptados da norma analítica do Instituto Adolfo Lutz-SP (PREGNOLATTO e PREGNOLATTO, 1985).

4.7.3. Consumo de água e Evapotranspiração

O consumo de água (CA) das plantas, durante todo o período experimental, foi determinado através de balanço hídrico, com base em procedimentos contidos em Doorenbos e Kassam (1994).

$$C.A = \sum VA - \sum VD \quad \text{em que:}$$

CA = Consumo de água

VA = Volume de água aplicado em cada irrigação (L)

VD = Volume de água drenado em cada irrigação (L)

Determinou-se a evapotranspiração da cultura (ETc) nos períodos 210-240, 240-270, 270-300, 300-330, 330-360, 360-390, 420-450 e 450-480 DAT, estimada pela equação seguinte:

$$Etc = \frac{VA - VD}{S} * \frac{1}{TR} \quad \text{em que:}$$

ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹)

VA = Volume de água aplicado em cada irrigação (L)

VD = Volume de água drenado em cada irrigação (L)

S = Área de exposição do lisímetro para o diâmetro de (1,5m²)

TR = Turno de rega (3dias)

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi obtida pelo método de Hargreaves e Samani (1985); os cálculos foram feitos com base nas temperaturas do ambiente, cujo dados foram obtidos na Estação Meteorológica da UFCG, Campina Grande –PB:

$$ET_o = 0,0023 \times Q_o \times \sqrt{(T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})} \times (T_m + 17,8)$$

Onde:

ET_o = Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹)

Q_o = Radiação solar, em equivalente de evaporação (mm dia⁻¹)

T_{máx.} = Temperatura máxima diária (°C)

T_{mín.} = Temperatura mínima diária (°C)

T_m = Temperatura média diária (°C)

K_c = Coeficiente de cultivo

ET_c = Evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹),

4.7.4. Coeficiente de cultivo (K_c)

O coeficientes de cultivo (K_c) do pinhão manso foi determinado em todos os períodos estudados, a partir dos dados de ET_c (Método do balanço hídrico) e ET_o (Métodos de Samani-Hargreaves), conforme Doorenbos e Kassam (1979):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

Em que: K_c - Coeficiente de cultivo

ET_c - evapotranspiração da cultura

ET_o - Evapotranspiração de referencia

4.7.5. Análise do solo antes e no final do experimento

Antes e ao final do período experimental foram coletadas amostras de solo nos lisímetros, a 0-10 cm de profundidade, para análises no Laboratório de Irrigação e Salinidade/UFCG, visando-se observar os efeitos da aplicação da água superficial poluída nas propriedades do solo. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em peneiras com malha de 2 mm. Determinaram-se as concentrações de Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Hidrogênio, Alumínio, Carbono, Carbono Orgânico, Matéria Orgânica, Fósforo, e os valores de pH, condutividade elétrica do extrato de saturação, conforme metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997). Os dados estão na Tabela 6.

Tabela 6. Dados da análise dos atributos químicos do solo coletado nos lisímetros, na profundidade 0-10 cm, antes e após o período experimental.

Características Químicas	Amostragem	
	Antes	Após
Cálcio (Meg/100g de solo)	0,67	1,46
Magnésio (Meg/100g de solo)	1,19	1,16
Sódio (Meg/100g de solo)	0,03	0,20
Potássio (Meg/100g de solo)	0,07	0,14
S (Meg/100g de solo)	1,25	2,96
Hidrogênio (Meg/100g de solo)	0,55	0,25
Alumínio (Meg/100g de solo)	0,80	0,00
T (Meg/100g de solo)	2,20	3,21
Carbono de Cálcio Qualitativo	Aus	Aus
Carbono Orgânico %	1,10	0,48
Matéria Orgânica %	1,19	0,83
Nitrogênio %	0,09	0,05
Fósforo Assimilável mg/ 100g	0,10	3,52
pH H ₂ O (1:2,5)	5,20	6,80
Cond. Elétrica-mmhos/cm (Suspensão Solo-Água)	0,10	0,16

Análise realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade, UFCG/UAEAg/CTRN.

4.7.6. Análise econômica

Todos os gastos foram contabilizados para se fazer a análise econômica do cultivo de pinhão manso irrigado com água superficial poluída, no período de 210 DAT ao final dos 480 DAT, utilizando-se de planilha Excel, para os cálculos.

4.7.7. Análises estatísticas

Ao término da fase experimental, os dados coletados foram tabulados e submetidos a análises de variância e de regressão, utilizando-se do programa SISVAR, conforme metodologia de Ferreira (2000).

Foram feitas as curvas de evolução das variáveis de crescimento, em função dos diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.

5. RESULTADOS

5.1. Altura da planta

Ocorreu efeito significativo dos níveis de reposição da evapotranspiração (Nr), na altura de plantas (AP), em todos os períodos estudados (Tabela 7). Com base nesses dados, constata-se ser sensível ao estresse hídrico a espécie *Jatropha curcas*. Silva (2009), estudando a cultura do pinhão manso, em ambiente protegido, verificou que a altura das plantas foi afetada em todos os períodos estudados, quando foram irrigadas com lamina de água, variando entre 0,25 e 1,25 da evapotranspiração, no período de 10 meses. Analisando-se, ainda, os dados contidos na Tabela 7, observa-se baixo coeficiente de variação, em todos os períodos estudados, significando uma boa precisão experimental.

Na Figura 2 são apresentados os valores médios de altura de plantas, em diferentes estágios de desenvolvimento. O modelo que melhor se ajustou aos dados da variável altura de planta, foi o linear dos 210 dias após transplântio até o último período estudado (480 DAT).

O incremento da água superficial poluída ocasionou um maior crescimento em altura das plantas durante todo o período estudado. Pelos resultados apresentados (Tabela 7 e Figura 2), a melhor resposta na altura das plantas de pinhão manso ocorreu nos tratamentos de maior nível de reposição da ETc, indicando que o pinhão manso é uma cultura sensível ao estresse hídrico. Para Hsião (1973), muitos processos fisiológicos das plantas são afetados pelo déficit hídrico, e, como o crescimento das plantas é controlado pela divisão celular, seguido de sua expansão, uma quantidade de água insuficiente mantendo células das zonas de crescimento em condições de flacidez, reduz o coeficiente de divisão celular e a expansão de todas as células, impedindo assim o crescimento vegetativo das plantas. Pires et al. (2001) relataram que a falta ou o excesso de água afeta o crescimento da planta. Em pesquisas com a cultura do Pinhão, Silva (2008), verificou que a altura média das plantas cultivadas sem estresse (100 % de água disponível) aos 396 dias após semeadura – DAS, foi de 2,79 m. Já para Rodrigues (2008), utilizando água superficial poluída na mamoneira determinou aos 174 DAS, a altura média das plantas de

mamona de 1,49 m; o autor atribui tal diferença possivelmente ao aporte de nutrientes da água superficial poluída, dessa forma, contribuindo para um maior crescimento das plantas.

Albuquerque et al. (2008), avaliando diferentes doses de nitrogênio e níveis de água disponível no solo, verificaram aos 150 DAS que as plantas de pinhão manso que apresentaram maiores alturas foram aquelas que receberam a maior dose de nitrogênio (180 kg ha^{-1}) e o maior nível de água disponível no solo (100%). Nessa pesquisa, foram observados maiores incrementos no crescimento das plantas no decorrer do tempo, possivelmente devido às adubações de cobertura com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 10g e 10g KCl e de super simples, realizadas mensalmente, bem como, aos nutrientes contidos na água superficial poluída.

Ao final das observações (480 DAT), neste trabalho, havia plantas com altura média de 2,1 (Nr_4) a 2,5 (Nr_5) metros. Tais resultados corroboram as informações citadas por Arruda et al. (2004), que o pinhão manso é uma cultura característica de crescimento rápido e atinge altura de dois a três metros quando adulta, podendo alcançar até cinco metros em condições especiais. Ratre (2004), avaliando o crescimento do pinhão manso na Tailândia, observou que mudas dessa espécie atingiram altura média entre 83 e 110 cm com 14 meses de idade. Silva (2008) avaliando o crescimento do pinhão em seu experimento foi observado que no final de 12 meses de idade a espécie atingiu 2,5m (Nr_4) a 2,8m (Nr_5) no final do período de 480 dias após transplante das mudas.

Tabela 7. Resumos das análise de variância , com decomposição dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para altura de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 DAT.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		210DAT Set/08	240 DAT Out/08	270 DAT Nov/08	300 DAT Dez/08	330 DAT Jan/09	360 DAT Fev/09	390 DAT Maç/09	420 DAT Abr/09	450 DAT Malo/09	480 AT Jun/09
Nível de Reposição (Nr)	4	378,75**	367,30**	366,32**	400,70**	411,12**	1597,70**	429,82**	467,80**	466,80**	503,07**
Regressão Linear	1	960,40**	940,90**	912,02**	1020,10**	1081,60**	1155,62**	1276,90**	1404,22**	1440,00**	1575,02**
Regressão Quadrática	1	232,071**	232,07**	204,44*	193,14*	164,57*	111,44 ^{ns}	126,00 ^{ns}	135,16 ^{ns}	120,50 ^{ns}	85,01 ^{ns}
Regressão Cubica	1	313,60**	291,60**	342,22**	384,40**	396,90**	330,62**	313,60**	324,90**	302,50**	342,22**
Regressão 4º grau	1	8,92 ^{ns}	4,62 ^{ns}	6,60 ^{ns}	5,15 ^{ns}	1,42 ^{ns}	0,00 ^{ns}	2,80 ^{ns}	6,91 ^{ns}	4,62 ^{ns}	10,03 ^{ns}
Blocos	3	59,38 ^{ns}	40,13 ^{ns}	50,98 ^{ns}	50,00 ^{ns}	56,48 ^{ns}	50,31 ^{ns}	55,53 ^{ns}	65,93 ^{ns}	73,65 ^{ns}	55,13**
Resíduo	12	21,24	20,13	23,19	22,66	27,05	26,191	28,99	31,76	31,56	24,00
CV(%)		2,74	2,63	2,78	2,71	2,93	2,83	2,94	3,04	3,00	2,58

Tratamentos	Médias (cm)									
Nr ₁ (0,25 ETc)	155,00	158,00	160,00	161,75	164,25	168,00	170,75	172,75	175,00	177,50
Nr ₂ (0,50 ETc)	165,50	168,00	170,50	172,25	174,00	175,50	177,50	179,25	181,00	182,75
Nr ₃ (0,75 ETc)	165,25	167,50	171,25	173,50	174,75	177,50	179,50	181,25	183,75	186,50
Nr ₄ (1,00 ETc)	176,00	178,50	181,25	184,25	187,25	190,25	193,25	196,00	198,00	201,00
Nr ₅ (1,25 ETc)	179,50	182,00	183,75	186,25	188,50	191,25	194,50	197,25	199,50	202,00

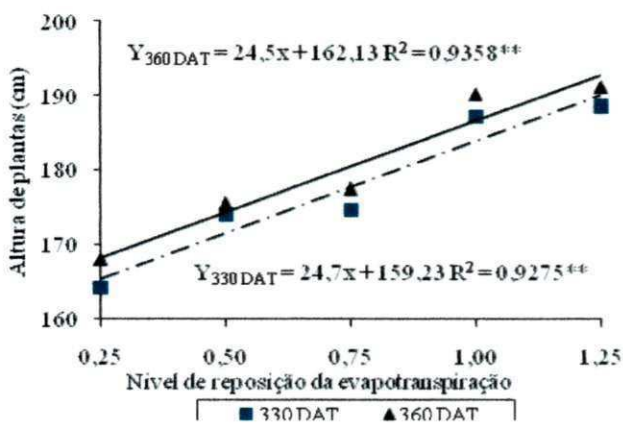
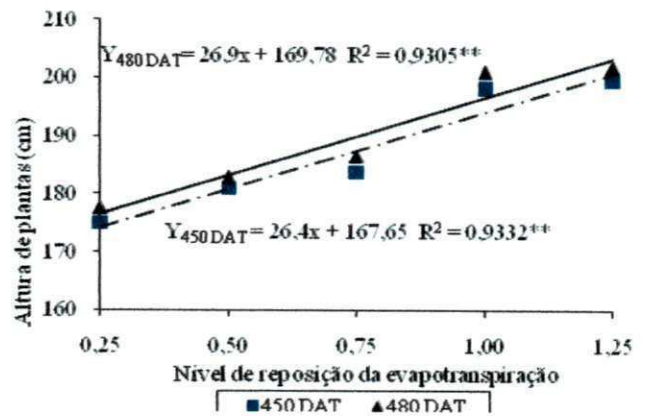
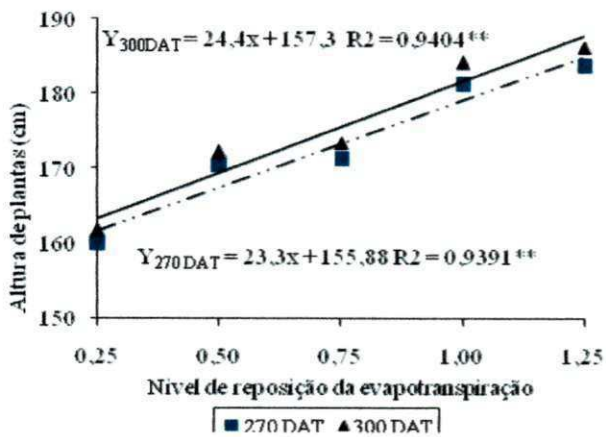
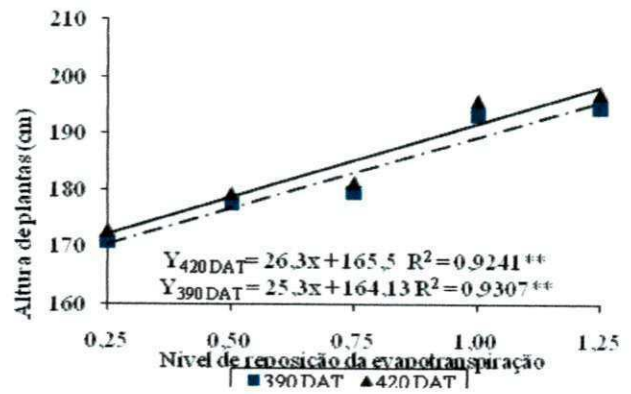
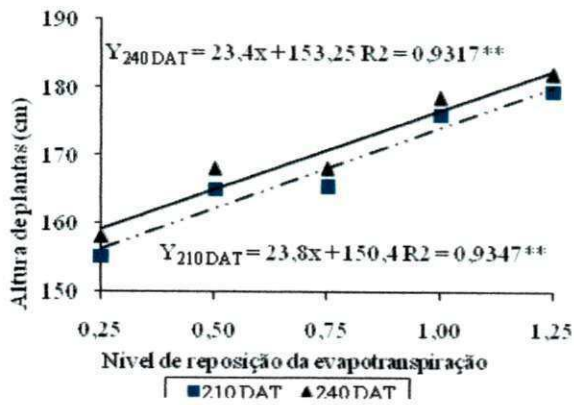


Figura 5. Valores médios da altura de plantas do pinhão manso dos 210 aos 480 dias após transplante, em função de diferentes níveis de reposição da Evapotranspiração da cultura. Campina Grande, PB- 2009.

Na Figura 3, observam-se as médias de altura das plantas de pinhão manso, obtidas de acordo com os períodos e níveis de reposição da evapotranspiração do experimento; ocorreu efeito significativo, a 1% de probabilidade, dos níveis de reposição da evapotranspiração (N_r), sobre a altura das plantas do pinhão manso, ao longo do ciclo, em todos os tratamentos (0,25, 0,50, 0,75, 1,00 e 1,25 da ET_c).

Em condições de baixa umidade do solo, as plantas cresceram menos que as cultivadas sob condições de maior disponibilidade hídrica no solo, portanto, essa variável foi influenciada, tanto pelo tratamento, como pelo período de avaliação.

Aos 210 DAT, nos tratamentos de menor (0,25 da ET_c) e maior (1,25 da ET_c) nível de reposição da evapotranspiração, a altura das plantas chegou a 16,63 e 19,45 cm, respectivamente; ao final do ciclo (480 DAT), esses valores alcançaram 177,50 e 202,00 cm de altura, respectivamente, nos tratamentos correspondentes a 0,25 e 1,25 da ET_c .

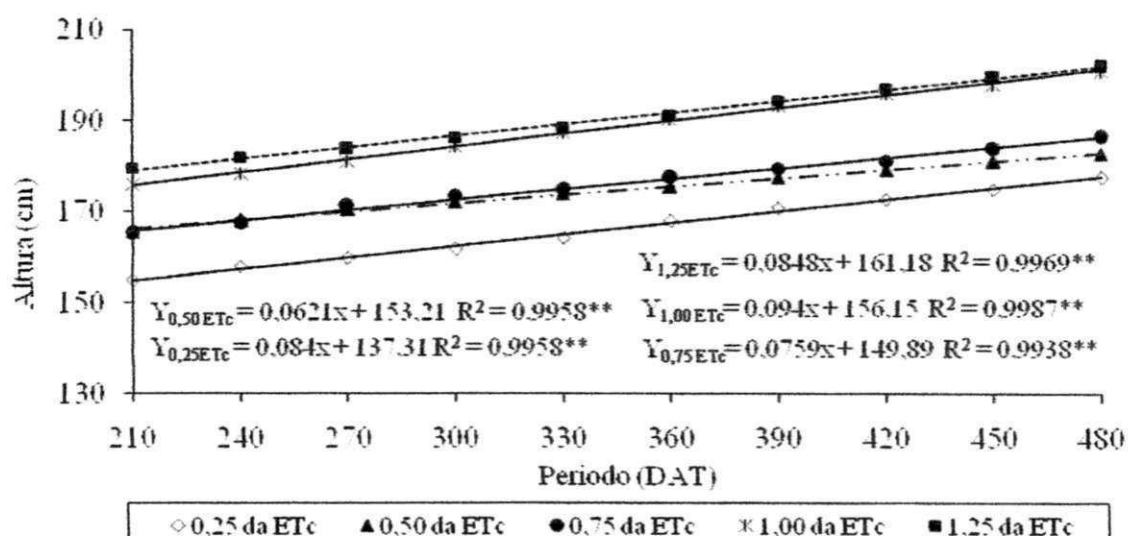


Figura 6. Curvas de evolução da altura de plantas do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. Campina Grande-PB 2009

5.2. Diâmetro do caule

Não foram registrados efeitos significativos dos níveis de reposição da evapotranspiração sobre a variável de crescimento do diâmetro caulinar (DC), em todos os períodos estudados. Mesmo não sendo significativos, procedeu-se o detalhamento dos

graus de liberdade, em componentes de regressão polinomial. Os dados de DC das plantas se ajustaram ao modelo linear (Tabela 8), na maioria das datas de avaliação, ao final do período de estudos, aumentando em função dos diferentes níveis de reposição da evapotranspiração.

A sensibilidade do pinhão manso ao estresse hídrico foi mais acentuada no crescimento em altura do que em diâmetro das plantas. Albuquerque et al. (2008), avaliando a influência de níveis de água disponível no solo, sobre o crescimento em diâmetro caulinar do pinhão manso, observaram, aos 150 dias após semeadura, os maiores valores de diâmetro no tratamento com 100% da evapotranspiração.

Severino e Beltrão (2006) constataram, na fase inicial de crescimento (30 dias após a emergência), que o diâmetro caulinar do pinhão manso foi afetado, linearmente, pela condutividade elétrica da água, com redução de 7,68% por unidade de CEa; efeito semelhante também foi observado na altura das plantas (7,85%).

Nas plantas que receberam 100% de suas necessidades hídricas (1,00 ETc), irrigadas com água superficial poluída, comparadas às plantas do tratamento (0,25 ETc), verificaram-se tendências não significativas entre os tratamentos, considerando que a precipitação do período foi alta, podendo ter influenciado nesta variável.

O diâmetro decresce à medida que diminuiu os níveis de reposição da evapotranspiração, como decorrência natural das condições hídricas desfavoráveis para divisão e alongamento celular, afetando, possivelmente, o câmbio caulinar (RAVEN et al., 2001; TAIZ e ZEIGER, 2004).

Tabela 8. Resumos das análises de variância, com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para diâmetro caulinar de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 dias após transplantio. Campina Grande, PB 2009

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		210DAT Set/08	240 DAT Out/08	270 DAT Nov/08	300 DAT Dez08	330 DAT Jan/09	360 DAT Fev/09	390 DAT Maç/09	420 DAT Abr/09	450 DAT Maio/09	480 AT Jun/09
Nível de Reposição (Nr)	4	0,30 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,70**	0,30 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,175 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,95**
Regressão Linear	1	0,90 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,90 ^{ns}	1,60**	2,50**	0,90*	0,90*	0,62 ^{ns}	1,22*	3,02**
Regressão Quadrática	1	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,44*
Regressão Cubica	1	0,22 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Regressão 4º grau	1	0,00 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Blocos	3	0,05 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,85**	0,93**	0,58 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Resíduo	12	0,30	0,34	0,19	0,16	0,10	0,10	3,59	0,24	0,20	0,05
CV(%)		6,12	6,35	4,66	4,30	3,28	3,23	3,19	4,94	4,52	2,16

Tratamentos	Médias (mm)									
Nr ₁ (0,25 ETc)	85,0	90,0	92,5	92,5	95,0	95,0	97,5	97,5	100,0	100,0
Nr ₂ (0,50 ETc)	90,0	90,0	92,5	92,5	97,5	97,5	100,0	100,0	102,5	102,5
Nr ₃ (0,75 ETc)	92,5	92,5	95,0	95,0	97,5	97,5	102,5	102,5	107,5	107,5
Nr ₄ (1,00 ETc)	92,5	92,5	97,5	97,5	100,0	100,0	102,5	102,5	107,5	110,0
Nr ₅ (1,25 ETc)	97,5	97,5	97,5	100,0	100,0	102,5	102,5	107,5	110,0	117,5

De acordo com a Figura 7, que mostra a análise de crescimento do diâmetro caulinar do pinhão manso, no período de 210 a 480 dias após transplante, é observado que o comportamento dessa variável foi semelhante à altura de plantas. O diâmetro decresceu à medida que diminuíram os níveis de reposição da evapotranspiração, como decorrência natural das condições hídricas desfavoráveis para divisão e alongamento celular, afetando, possivelmente, o câmbio caulinar (RAVEN et al., 2001; TAIZ e ZEIGER, 2004).

O crescimento do caule das plantas em diâmetro ocorreu de forma contínua ao longo de todo o ciclo, conforme o tipo de tratamento estabelecido. Os maiores diâmetros foram determinados no tratamento com reposição de 1,25 da evapotranspiração da cultura, chegando a alcançar aos 480 dias após transplante valor de 117,5 mm. Nos tratamentos com menor aplicação de água ao solo, esses resultados foram decrescentes.

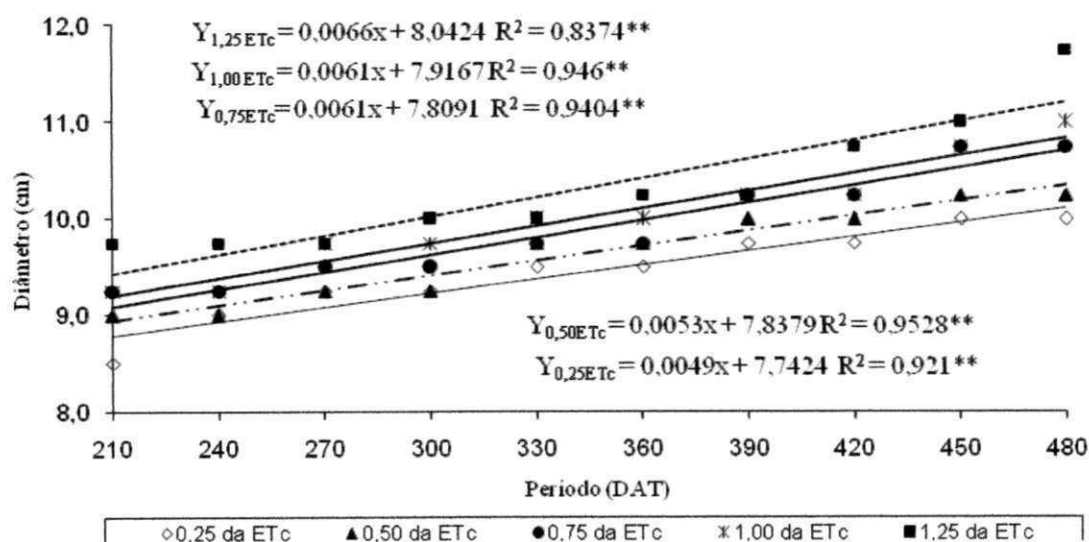


Figura 7. Curvas de evolução do diâmetro caulinar do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. Campina Grande, PB 2009.

5.3. Número de Folhas

Observa-se, pelos estudos de regressão (Tabela 9), que os níveis de reposição da ETc com água superficial poluída proporcionaram efeitos significativos sobre o número de folhas, aos 240, 300, 360 dias após transplante. O teor de umidade do solo influenciou de forma linear e crescente essa variável de crescimento, nos períodos 240, 300 e 360 dias após transplante. Durante toda a fase experimental, foram observados sintomas de sensibilidade ao estresse hídrico, caracterizando-se por plantas com baixo número de folhas e folhas pequenas.

Elevados teores de sais no solo e na água podem levar as plantas às condições de estresse hídrico. Severino e Beltrão (2006) observaram que o crescimento inicial do pinhão manso (30 dias após a emergência), sob condições controladas, ocasionou redução de 40% no número de folhas (de 10,0 para 6,0), correspondendo a cerca de 9,66% por unidade de CEa, sendo mais afetada que a altura (7,85%) e o diâmetro caulinar (7,68%). Os autores concluíram que o pinhão manso é uma espécie sensível à salinidade da água de irrigação.

Silva (2004), em estudos com cultivares de mamoneira, aos 60 dias após transplante, e Correia (2005), aos 105 DAT, com cultivares de amendoim, verificaram redução linear do número de folhas, com decréscimo na ordem de 8,0% por incremento unitário da salinidade da água de irrigação. Nery (2008) verificou decréscimo no número de folhas do pinhão manso ao 163 DAS de 9,75%, por incremento unitário da salinidade da água.

Quando se analisam os dados das plantas cultivadas sob situação severa de estresse hídrico (0,25 de reposição da ETc), com os obtidos sob condições favoráveis de umidade do solo (reposição de 1,25 da ETc), durante toda a fase experimental, constata-se ser o pinhão manso sensível ao estresse hídrico, no tocante ao crescimento em altura, discutido no item anterior, como também ao número de folhas.

Conforme Taiz e Zeiger (2004), a expansão ou o alongamento celular é um processo que depende do turgor, portanto, é muito sensível à disponibilidade de água no solo para as plantas; assim, a restrição hídrica limita, não só o tamanho, mas também o número de folhas. Ainda segundo esses autores, as folhas desenvolvem uma cutícula mais grossa para reduzir a perda de água por transpiração, uma forma de aumentar a eficiência de uso de água pela planta.

Os cinco níveis de reposição da evapotranspiração (Figura 8) ocasionaram alterações significativas no número de folhas das plantas do pinhão, aos 240, 300 e 360 DAT, em todos os

tratamentos. Foi crescente a formação de novas folhas nas plantas, ao longo do tempo, de maneira mais intensiva nos tratamentos sem estresse hídrico; aos 480 dias após o transplante, foi observado um menor número de folhas nas plantas, devido ao início do estágio de descanso vegetativo.

Pode-se observar, ainda, que do início das avaliações, aos 210 DAT, até 480 DAT, foi semelhante o número de folhas das plantas, nos tratamentos sem estresse hídrico. No final das avaliações, aos 480 dias após transplante, foi constatado nas plantas do tratamento com 0,25 da evapotranspiração, um número médio de folhas de 592, comparados a 726 e 741 folhas contidas nas plantas dos tratamentos com reposição de 1,00 e 1,25 da evapotranspiração, respectivamente. A queda do número de folhas, a partir de 420 dias, deve-se ao período natural de descanso vegetativo.

Tabela 9. Resumo da análise de variância, com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para, número de folhas de pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 DAT. Campina Grande, PB 2009.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		210DAT Set/08	240 DAT Out/08	270 DAT Nov/08	300 DAT Dez08	330 DAT Jan/09	360 DAT Fev/09	390 DAT Maç/09	420 DAT Abr/09	450 DAT Maio/09	480 AT Jun/09
Nível de Reposição (Nr)	4	24579,95 ^{ns}	12088,32*	62081,30 ^{ns}	92421,92*	258375,67 ^{ns}	59626,67**	30827,17 ^{ns}	24737,25 ^{ns}	7020,20 ^{ns}	8857,17 ^{ns}
Regressão Linear	1	82901,02 ^{ns}	25351,22*	205348,90*	31662,02**	541027,60*	98307,22**	98307,22 ^{ns}	22467,6 ^{ns}	4368,10 ^{ns}	409,60 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	1,44 ^{ns}	8825,16 ^{ns}	540,64 ^{ns}	111,44 ^{ns}	136225,78 ^{ns}	60260,16*	15015,87 ^{ns}	71571,50*	5965,78 ^{ns}	27634,57 ^{ns}
Regressão Cubica	1	4579,60 ^{ns}	13104,40 ^{ns}	37638,22 ^{ns}	37699,60 ^{ns}	54686,02 ^{ns}	36663,02 ^{ns}	72,90 ^{ns}	4752,40 ^{ns}	11868,02 ^{ns}	2016,40 ^{ns}
Regressão 4º grau	1	10837,72 ^{ns}	1072,51 ^{ns}	4797,43 ^{ns}	15214,19 ^{ns}	301563,28 ^{ns}	43276,28 ^{ns}	9912,70 ^{ns}	157,50 ^{ns}	5878,88 ^{ns}	5368,12 ^{ns}
Blocos	3	51218,26 ^{ns}	23701,33**	21636,31 ^{ns}	21273,73 ^{ns}	44627,60 ^{ns}	91801,91**	27188,18 ^{ns}	44314,73 ^{ns}	31384,05 ^{ns}	14232,60 ^{ns}
Resíduo	12	18074,35	3466,95	25595,56	20572,19	85135,64	85135,64	26940,30	14549,65	15429,80	21533,14
CV(%)		26,44	17,39	27,99	25,00	30,62	10,17	24,65	14,56	24,28	30,85

Tratamentos	Médias (cm)									
Nr ₁ (0,25 ETc)	400,75	329,50	461,00	422,00	823,00	930,75	592,25	864,25	575,00	529,25
Nr ₂ (0,50 ETc)	509,00	272,50	452,00	451,50	844,50	853,25	626,50	744,25	459,00	460,00
Nr ₃ (0,75 ETc)	470,75	301,75	540,50	526,75	657,25	806,25	597,50	761,50	518,50	405,00
Nr ₄ (1,00 ETc)	557,25	395,25	718,00	752,25	1225,00	1073,50	720,25	835,25	507,00	482,00
Nr ₅ (1,25 ETc)	604,25	394,00	686,25	716,50	1214,25	1068,50	793,25	937,25	498,00	502,25

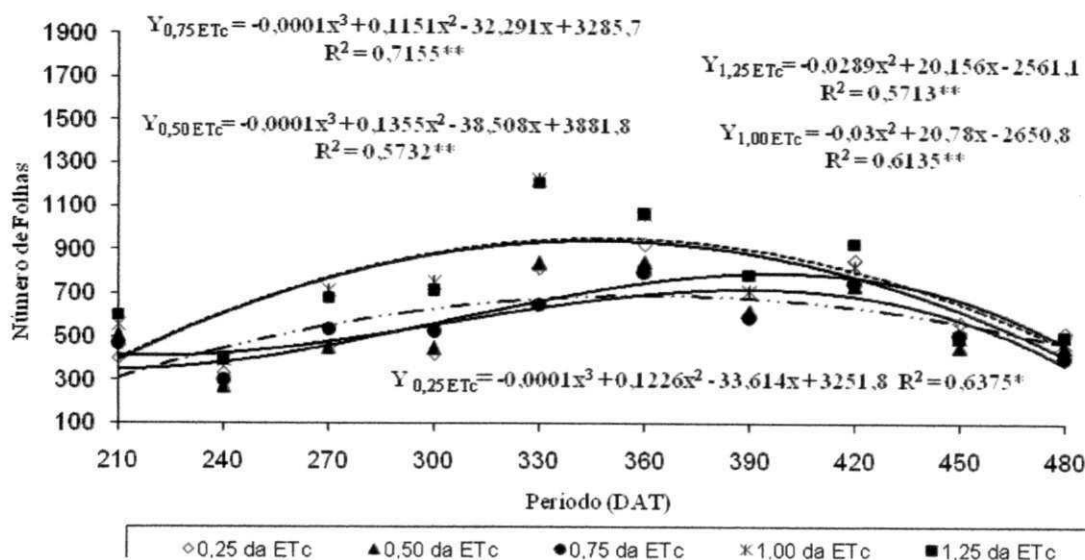


Figura 8. Curvas de evolução do número de folha do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. Campina Grande, PB 2009.

5.4. Área foliar

A determinação da área foliar de plantas é uma importante ação que permite ao pesquisador obter indicativo de resposta de tratamentos aplicados e lidar com uma variável que se relaciona mais, diretamente, com a capacidade fotossintética e de interceptação da luz (Silva, 2009).

Assim como foi observado para diâmetro caulinar, os níveis de reposição da evapotranspiração não exerceram efeito significativo sobre a área foliar das plantas, ocorrendo significância apenas aos 300 e 330 dias no período da avaliação. O incremento dos níveis de reposição da evapotranspiração não contribuiu, linearmente, para o aumento da área foliar das plantas, conforme os dados de regressão contidos na Tabela 10.

Para Bergamaschi (1999), a baixa disponibilidade de água no solo pode provocar redução da área foliar, por secamento ou queda das folhas, uma tentativa de a planta reduzir a perda de água por transpiração, aumentando a eficiência de uso da água, todavia, isto resulta em queda da fotossíntese total, que, por sua vez, reduz a taxa de crescimento e a produção do vegetal.

Xavier (2007), em pesquisa com a cultivar mamona BRS Nordestina, com águas residuárias tratadas de três indústrias de Campina Grande-PB, observou tendência de decréscimo na área foliar, após 90 DAT. À semelhança das variáveis altura de planta e diâmetro caulinar, o uso do efluente industrial mais rico e equilibrado em nutrientes resultou em maior crescimento em área foliar, notadamente quando as plantas foram irrigadas com os níveis de 80 e 100% de água disponível. Nas plantas da testemunha absoluta (água de abastecimento, sem adubação), o autor verificou decréscimo acentuado na área foliar, da ordem de 90 %.

Na área foliar das plantas de pinhão, em função dos dias após o transplantio (DAT) (Figura 9), a partir dos 210 DAT, a formação de novas folhas entre os tratamentos ocorreu de forma bastante diferenciada, determinando-se, em média, nas dez avaliações, no tratamento com reposição de 0,25 da ETc uma área foliar média de 0,75 cm², enquanto para as plantas dos tratamentos com 1,00 e 1,25 da ETc, os valores médios foram 0,83 cm² e 0,84 cm² de área foliar, respectivamente. Aos 390 dias após transplantio, em todos os tratamentos ocorreu aumento na área foliar das plantas, podendo estar relacionada ao processo de descanso vegetativo, já que, com a aproximação dessa fase vegetal, as plantas não emitiram novas folhas, permanecendo as folhas maduras e maiores, proporcionando uma maior área foliar. Para Taiz e Zeiger (2004), o aumento excessivo da área foliar pode prejudicar o desenvolvimento e a produção da planta, passando a atuar como o seu principal dreno.

Tabela 10. Resumos das análises de variância, com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para área foliar de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 dias após transplantio. Campina Grande-PB 2009

Fonte de variação Nível de Reposição (Nr)	GL	Quadrados Médios									
		210DAT Set/08	240 DAT Out/08	270 DAT Nov/08	300 DAT Dez08	330 DAT Jan/09	360 DAT Fev/09	390 DAT Maç/09	420 DAT Abr/09	450 DAT Maio/09	480 AT Jun/09
Regressão Linear	1	0.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.25 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0.0001 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0,048*	0,10*	0.00002 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.46 ^{ns}
Regressão Cubica	1	0.001 ^{ns}	0.00009 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.004 ^{ns}
Regressão 4º grau	1	0,04 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,0009 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Blocos	3	0,001 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,03*	0,03*	0,03 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,53 ^{ns}
Resíduo	12	0.00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}
V(%)		21,10	22,07	28,41	12,22	15,50	12,02	12,02	16,49	8,79	25,97

Tratamentos	Médias área foliar										
Nr ₁ (0,25 ETc)	0,85	0,66	0,59	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,72	1,00	1,06
Nr ₂ (0,50 ETc)	0,92	0,59	0,53	0,67	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	1,00	1,47
Nr ₃ (0,75 ETc)	0,87	0,78	0,74	0,78	0,76	0,56	0,56	0,56	0,56	0,97	1,09
Nr ₄ (1,00 ETc)	0,79	0,59	0,65	0,80	0,86	0,70	0,70	0,70	0,70	0,99	1,59
Nr ₅ (1,25 ETc)	0,83	0,71	0,78	0,77	0,81	0,66	0,66	0,66	0,66	1,03	1,54

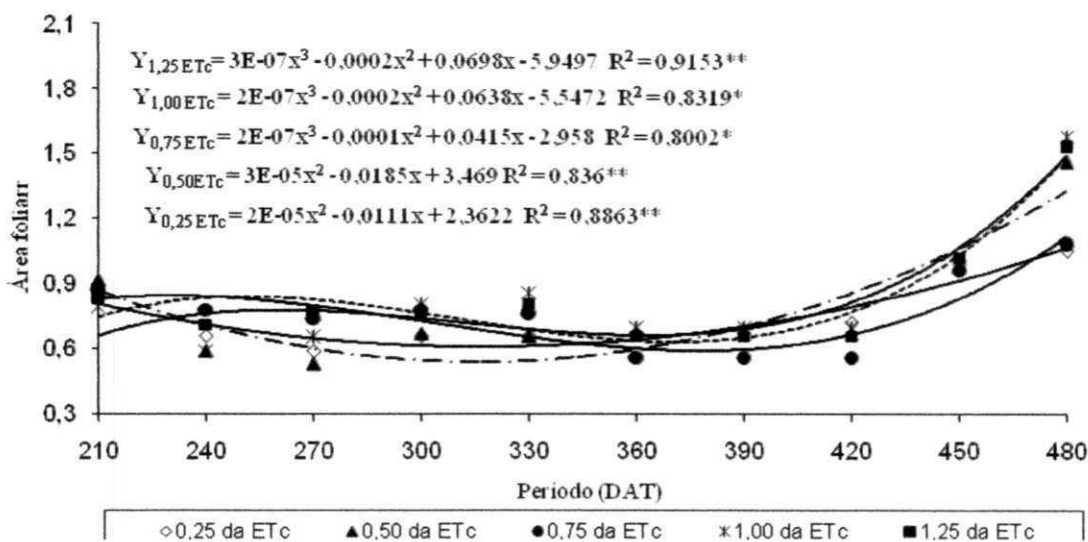


Figura 9. Curvas de evolução da área foliar do pinhão manso em várias épocas de avaliação, em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. Campina Grande, PB 2009

5.5. Número de frutos

A produção do pinhão manso é variável e depende da região, método de cultivo e tratos culturais, bem como, da fertilidade do solo (SILVA, 2009)

Os componentes de produção do pinhão manso, apresentados na Tabela 11, foram avaliados desde o início da produção, aos 210 DAS, até o final do experimento, aos 480 dias após transplântio. Os tratamentos 'Nr' da ETc afetaram, significativamente, o número de frutos, número de sementes, peso das sementes e peso médio de sementes.

Para Avelar et al. (2005), quanto maior o período de tempo disponível para a planta, em condições ambientais favoráveis, maior será o número de frutos formados e, portanto, maior a produtividade. Nesta pesquisa, foi observado que todas as plantas apresentavam produção contínua, até mesmo aquelas com estresse hídrico, porém a produtividade foi maior, principalmente, naquelas sob situação de disponibilidade necessária de água no solo.

Tabela 11. Resumos das análises de variância, com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para número de frutos de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 dias após transplantio. Campina Grande 2009

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		210DAT Set/08	240 DAT Out/08	270 DAT Nov/08	300 DAT Dez08	330 DAT Jan/09	360 DAT Fev/09	390 DAT Maç/09	420 DAT Abr/09	450 DAT Maio/09	480 AT Jun/09
Nível Reposição (Nr)	4	363,07**	394,12*	2149,32**	5958,452*	2067,20*	2915,30**	1224,20**	636,32**	418,30**	356,57**
Regressão Linear	1	1392,40**	1060,90**	8294,40**	19184,40**	7022,50**	9922,50**	3763,60**	2030,62**	1334,02**	1040,40**
Regressão Quadrática	1	37,78 ^{ns}	2,57 ^{ns}	1,78 ^{ns}	2113,14 ^{ns}	833,14 ^{ns}	144,64 ^{ns}	391,14 ^{ns}	407,16*	335,16*	380,64**
Regressão Cubica	1	18,22 ^{ns}	112,22 ^{ns}	189,22 ^{ns}	511,22 ^{ns}	360,00 ^{ns}	722,50 ^{ns}	297,02 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,60 ^{ns}	4,22 ^{ns}
Regressão 4º grau	1	3,88 ^{ns}	0,80 ^{ns}	111,88 ^{ns}	2025,03 ^{ns}	53,15 ^{ns}	871,55 ^{ns}	445,03 ^{ns}	106,88 ^{ns}	2,41 ^{ns}	1,03 ^{ns}
Blocos	3	82,18 ^{ns}	51,53 ^{ns}	260,98 ^{ns}	1460,45 ^{ns}	1000,20 ^{ns}	883,78 ^{ns}	274,73 ^{ns}	144,85 ^{ns}	99,80 ^{ns}	94,98 ^{ns}
Resíduo	12	38,47	67,49	235,85	1493,61	398,03	300,36	184,40	84,89	51,46	36,44
CV(%)		32,91	31,00	29,91	21,39	21,43	26,64	31,51	28,93	30,27	35,83

Tratamentos	Médias (cm ²)									
Nr ₁ (0,25 ETc)	9,25	18,25	25,00	148,25	71,75	30,75	25,00	22,25	16,75	12,25
Nr ₂ (0,50 ETc)	11,25	18,00	30,25	149,00	80,25	63,25	30,25	24,75	16,25	8,25
Nr ₃ (0,75 ETc)	16,50	25,75	55,50	184,50	88,00	51,25	41,25	22,75	18,25	12,00
Nr ₄ (1,00 ETc)	25,75	35,00	67,75	178,50	94,75	77,75	49,75	38,50	27,00	19,75
Nr ₅ (1,25 ETc)	31,50	35,50	78,25	243,00	130,75	102,25	69,25	51,00	40,25	32,00

Ocorreu uma elevada variação no número de frutos das plantas, entre os tratamentos Nr₁ e Nr₅, principalmente entre 300 e 330 DAT.

Analisando-se os dados da análise de variância, as plantas submetidas ao maior índice de estresse hídrico (0,25 da ET_c) chegaram a produzir 148 frutos, no pico de produção, aos 300 DAT, enquanto que nas cultivadas sob maior reposição de água, para manutenção do solo com teor de umidade equivalente a 1,25 da ET_c, a produção ultrapassou 240 frutos. Esse resultado foi semelhante nas variáveis, altura, número de sementes, peso das sementes e peso médio de sementes. O aumento do teor de umidade do solo contribuiu para uma maior produção das plantas.

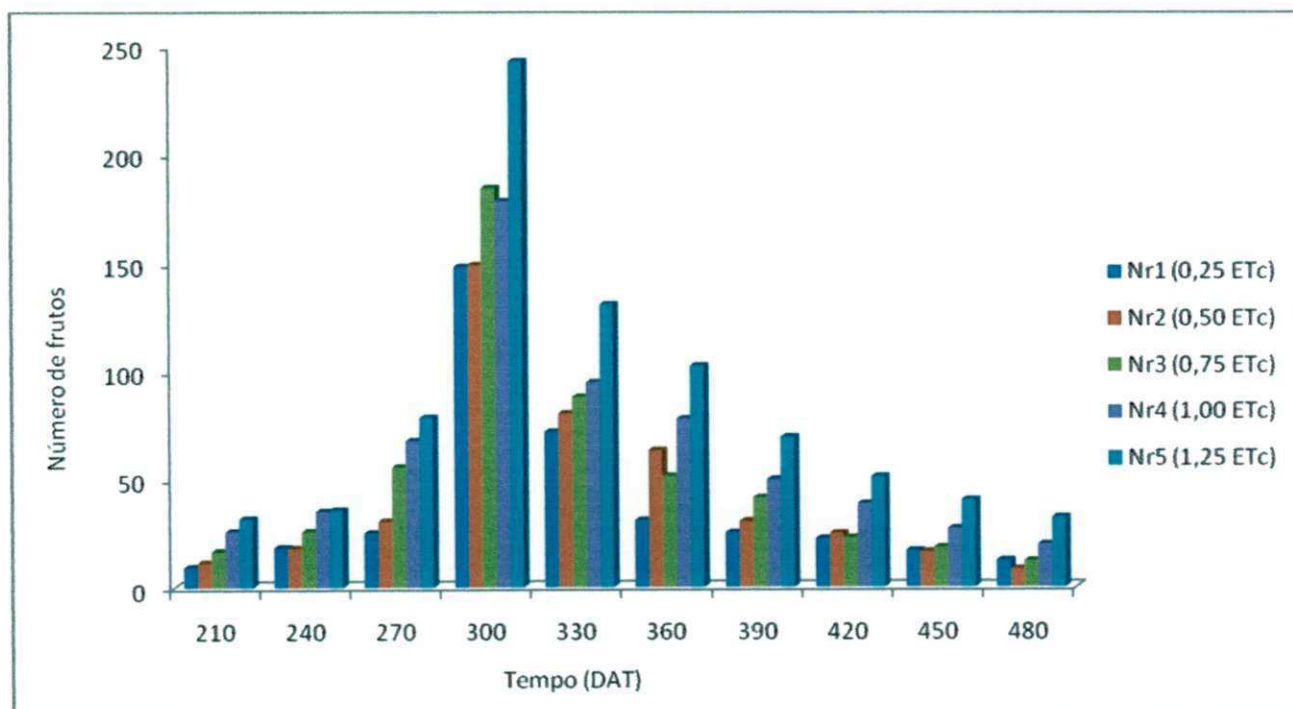


Figura 10. Número de frutos de plantas do pinhão manso irrigado com água superficial poluída dos 210 aos 480 dias após transplante (DAT), Campina Grande-PB 2009

5.6. Número de sementes

Na Tabela 12, pode ser verificado que as plantas cultivadas, em condições de elevada quantidade de água superficial poluída no solo, foram superiores àquelas sob limitação hídrica, quanto ao número das sementes; no tratamento com estresse hídrico (0,25 da ETc), as plantas produziram o máximo de 446 sementes e as irrigadas com 1,25 da ETc atingiram 730 sementes, aos 300 DAT, época de maior produção.

Segundo Drumond et al (2007), na região de Petrolina – PE, nos nove primeiros meses de implantação da cultura, com espaçamento de 2x2, a produtividade média de sementes por hectare das plantas que foram irrigadas (871 kg ha^{-1}) foi 3,5 vezes maior do que aquela obtida apenas com o regime normal de chuva (246 kg ha^{-1}).

Tabela 12 . Resumos das análises de variância , com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para número de sementes de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 dias após transplântio.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		210DAT Set/08	240 DAT Out/08	270 DAT Nov/08	300 DAT Dez08	330 DAT Jan/09	360 DAT Fev/09	390 DAT Maç/09	420 DAT Abr/09	450 DAT Maio/09	480 AT Jun/09
Nível de Reposição (Nr)	4	3212,67**	2724,92*	19190,25**	53610,17*	18551,20*	26181,95**	11080,07**	5780,67**	3792,82**	2957,05**
Regressão Linear	1	12285,02**	9796,90**	73960,00**	172922,50**	62884,90**	89113,60**	34164,02**	18576,10**	12215,02**	8643,60**
Regressão Quadrática	1	365,16 ^{ns}	18,28 ^{ns}	23,14 ^{ns}	19092,07 ^{ns}	7544,64 ^{ns}	1282,57 ^{ns}	3568,01 ^{ns}	3552,07 ^{ns}	2900,16*	3180,07*
Regressão Cubica	1	148,22 ^{ns}	1071,22 ^{ns}	1755,62 ^{ns}	4410,00 ^{ns}	3294,22 ^{ns}	6477,02 ^{ns}	2673,22 ^{ns}	6,40 ^{ns}	18,22 ^{ns}	0,40 ^{ns}
Regressão 4º grau	1	52,28 ^{ns}	13,28 ^{ns}	1022,23 ^{ns}	18016,12 ^{ns}	481,03 ^{ns}	7854,60 ^{ns}	3915,03 ^{ns}	988,12 ^{ns}	37,88 ^{ns}	4,12 ^{ns}
Blocos	3	742,71 ^{ns}	467,40 ^{ns}	2361,73 ^{ns}	13164,71 ^{ns}	9008,85 ^{ns}	7862,73	2399,60 ^{ns}	1325,13 ^{ns}	878,73 ^{ns}	640,66 ^{ns}
Resíduo	12	344,00	601,19	2109,31	13357,50	3568,43	2715,81	2399,60	762,67	456,19	362,25
CV(%)		32,28	30,38	29,63	21,28	21,31	26,57	31,13	28,56	29,62	26,05

Tratamentos	Médias (número de sementes)									
Nr ₁ (0,25 ETc)	29,00	55,50	76,25	446,00	216,50	93,25	76,00	67,25	50,50	38,25
Nr ₂ (0,50 ETc)	35,25	55,00	91,75	447,75	242,00	190,75	124,50	75,50	50,25	31,25
Nr ₃ (0,75 ETc)	49,75	78,25	167,75	554,25	265,00	154,70	92,00	69,50	55,50	37,00
Nr ₄ (1,00 ETc)	78,00	107,00	204,25	537,25	285,25	234,25	150,25	117,00	82,50	60,25
Nr ₅ (1,25 ETc)	95,25	107,75	235,00	730,00	393,25	307,50	209,25	154,25	121,75	97,25

Na Figura 11, observa-se terem sido colhidas sementes em todos os períodos, mas aos 300 e aos 330, foram registrados os maiores valores de produtividade, onde Nr₁ produziu uma média de 832 sementes e Nr₅ uma média de 1.665 sementes. Vê-se, claramente, que a umidade do solo influenciou de forma significativa essa variável.

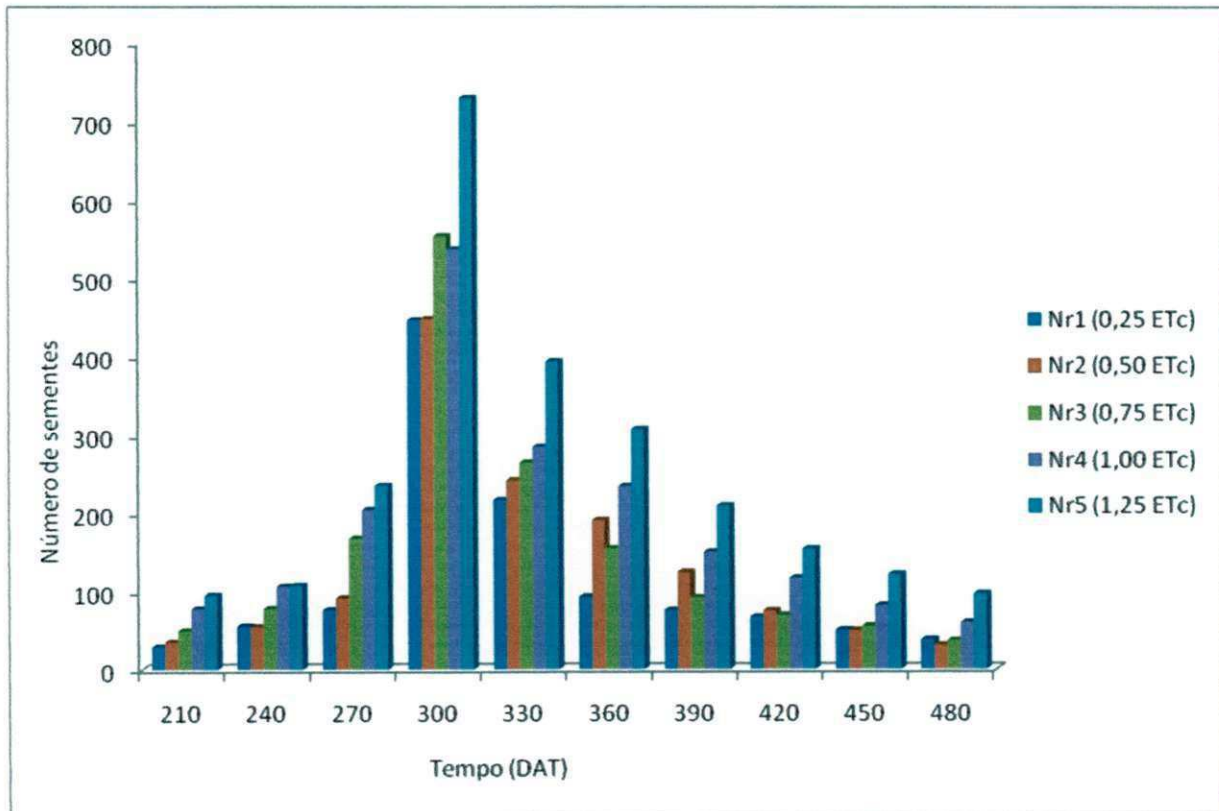


Figura 11. Números de sementes de pinhão manso irrigado com água superficial poluída dos 210 aos 480 (DAT), Campina Grande-PB 2009

5.7. Peso de sementes

De acordo com a Tabela 13, observa-se ter ocorrido efeito significativo, em todos os períodos estudados, também já observado em variáveis discutidas, anteriormente, devido à umidade do solo; os maiores valores de peso de sementes foram 322,35 g (N₄), 323,4 g (N₃) e 438,0 g em N₅. Considerando-se uma população de 1600 plantas ha⁻¹, no espaçamento de 3 x 2 m, comumente utilizada para o plantio de pinhão manso, essas produções, em peso, corresponderiam a, aproximadamente, 516, 517 e 791 kg ha⁻¹. Caso fosse considerado o espaçamento de 2 x 2 m, esses valores ultrapassariam 770 kg/ha, nos dois tratamentos citados e chegaria a mais de 1050 kg/ha em N₅. Ressalta-se o fato de terem sido as plantas cultivadas em lisímetros, portanto, com limitações para crescimento das raízes, fazendo que sejam considerados bons os rendimentos obtidos neste trabalho.

Na região de Petrolina – PE, nos nove primeiros meses de implantação da cultura, com espaçamento de 2 x 2m, a produtividade média de sementes por hectare nas plantas irrigadas (871 kg ha⁻¹) foi 3,5 vezes maior do que aquela obtida apenas com o regime normal de chuva (246 kg ha⁻¹).

Lima (2005), realizando um experimento no estado do Maranhão, registrou emissão das primeiras inflorescências em junho de 2005, ocorrendo a primeira colheita em setembro de 2005 e obteve produtividade de 500 kg / ha de semente. Em fevereiro de 2006, aquele autor realizou a segunda colheita, obtendo rendimento de 975 kg/ha. Esses valores são comparáveis aos obtidos neste trabalho, mesmo tendo aquele autor desenvolvido sua pesquisa em condições de campo. Heller (1996) faz referência a rendimentos de até 8,0 t ha⁻¹, porém, na aridez, os valores estão entre 200 a 800 kg de sementes ha⁻¹.

Assim como na variável de número de sementes, os maiores pesos de sementes foram encontrados nos tratamentos de 1,00 e 1,25 da evapotranspiração; observa-se, também, ter sido significativo o efeito dos tratamentos, em todos os períodos analisados (Tabela 13 e Figura 12). As plantas irrigadas sem estresse hídrico produziram mais sementes, resultando em maior peso de sementes.

Tabela 13. Resumos das análises de variância, com desdobramento dos níveis de reposição em componentes de regressão polinomial para peso de sementes de plantas do pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, no ciclo de produção de 210 aos 480 dias após transplântio. Campina Grande-PB 2009

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		210DAT Set/08	240 DAT Out/08	270 DAT Nov/08	300 DAT Dez08	330 DAT Jan/09	360 DAT Fev/09	390 DAT Maç/09	420 DAT Abr/09	450 DAT Maio/09	480 AT Jun/09
Nível de Reposição (Nr)	4	1267,58**	1173,25**	7593,84**	25328*	7677,87**	9919,00**	4235,14**	2254,54**	1506,19**	1151,27**
Regressão Linear	1	4791,72**	4032,06**	28590,40**	81162,08**	25025,00**	36264,48**	14160,16**	7728,40**	5069,25**	3418,80**
Regressão Quadrática	1	157,11 ^{ns}	18,28 ^{ns}	0,05 ^{ns}	8001,72 ^{ns}	4516,22 ^{ns}	700,07 ^{ns}	1508,00 ^{ns}	1181,28 ^{ns}	920,97*	1179,44*
Regressão Cubica	1	119,37 ^{ns}	637,60 ^{ns}	1121,48 ^{ns}	14,88 ^{ns}	34,22 ^{ns}	1062,96 ^{ns}	421,20 ^{ns}	33,30 ^{ns}	8,64 ^{ns}	5,70 ^{ns}
Regressão 4º grau	1	2,14 ^{ns}	5,07 ^{ns}	663,43 ^{ns}	12133,52 ^{ns}	1136,05 ^{ns}	1648,51 ^{ns}	851,21 ^{ns}	75,19 ^{ns}	25,92 ^{ns}	1,14 ^{ns}
Blocos	3	263,03 ^{ns}	158,27 ^{ns}	691,39 ^{ns}	2836,38 ^{ns}	3258,20 ^{ns}	2815,58 ^{ns}	841,80 ^{ns}	310,26 ^{ns}	275,69 ^{ns}	209,12 ^{ns}
Resíduo	12	121,88	215,95	815,52	5836,79	1406,45	1096,88	567,98	299,36	164,19	136,71
CV(%)		32,74	31,08	31,26	24,12	22,75	28,93	31,34	30,36	30,09	37,72

Tratamentos	Médias (Peso(g) de sementes)									
Nr ₁ (0,25 ETc)	16,82	28,15	44,65	256,00	133,90	53,75	43,80	38,77	28,95	22,12
Nr ₂ (0,50 ETc)	18,00	32,47	47,90	234,70	124,67	100,85	65,50	38,75	25,12	16,15
Nr ₃ (0,75 ETc)	29,85	46,95	100,65	323,40	159,00	92,85	55,20	44,70	36,30	22,20
Nr ₄ (1,00 ETc)	46,80	64,20	122,55	322,35	171,00	140,45	90,15	70,20	49,50	36,15
Nr ₅ (1,25 ETc)	57,15	64,65	141,00	438,00	235,80	184,50	125,55	92,55	73,05	58,35

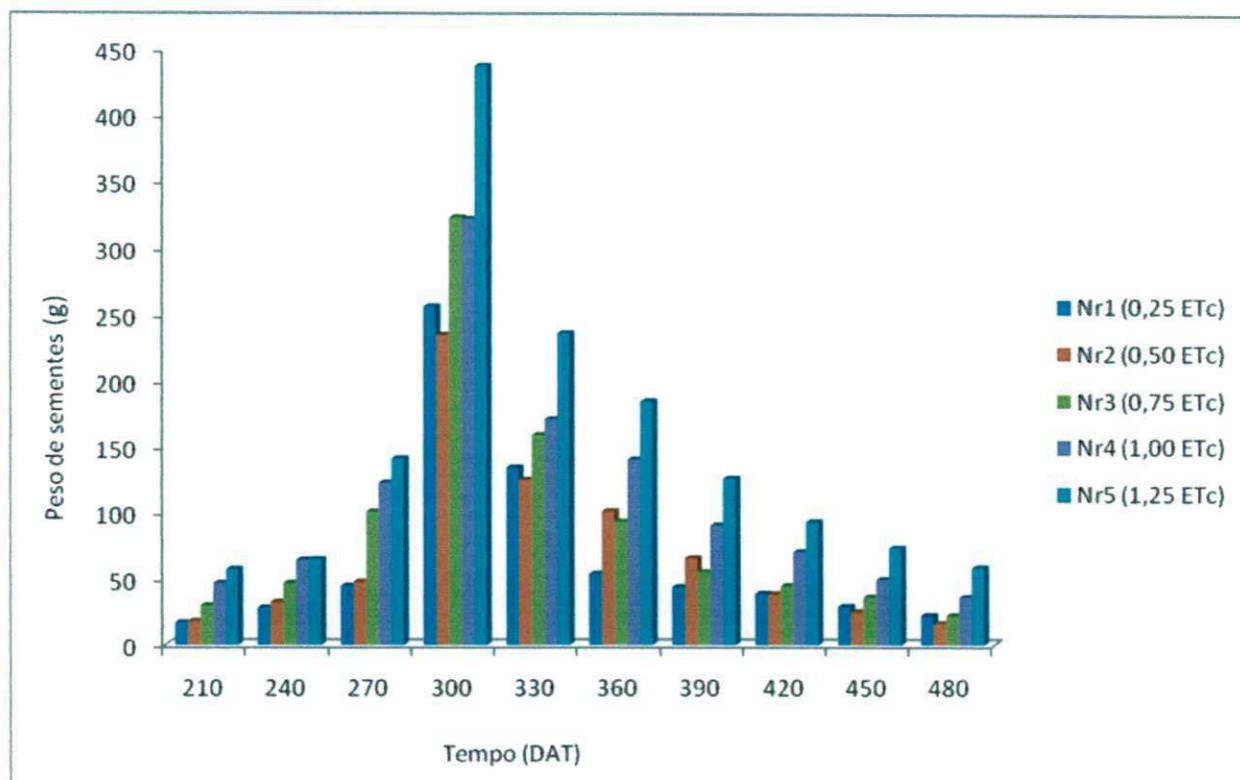


Figura 12. Peso de sementes de pinhão manso irrigado com água superficial poluída dos 210 aos 480 (DAT), Campina Grande-PB, 2009

5.8. Teor de óleo e massa de 100 sementes

Na Figura 13 estão os dados de massa de 100 sementes e do teor de óleo de pinhão manso, sendo esta última análise realizada na Embrapa Algodão, em Campina Grande; nota-se ter aumentado o peso de 100 sementes, nos tratamentos N_4 e N_5 , uma constatação da influência do volume hídrico e dos nutrientes contidos na água residuária, sobre a massa das sementes. Não houve diferenças entre os tratamentos correspondentes à reposição da evapotranspiração, nos níveis de 0,25 e 0,50 da ETc, em relação ao peso das sementes.

Em relação ao teor de óleo, maior percentual foi observado no tratamento correspondente a 1,25 da ETc, com 28,21%; nos níveis de reposição Nr_3 e Nr_4 (0,75 e 1,00 da ETc, respectivamente), o teor de óleo foi muito aproximado, em torno de 23%. Portanto, maior teor de

óleo foi obtido nos níveis mais altos de reposição da evapotranspiração, influenciado não apenas pela quantidade de água, mas, também, pela maior presença de íons contidos na água residuária.

Segundo Ackon e Ertel (2005), o óleo de pinhão reduz as emissões de CO₂, não emite gases de efeito estufa e contém enxofre em valores inexpressivos (não formando dióxido de enxofre que causa a chuva ácida), sendo, portanto, uma alternativa que atende aos fatores ambientais.

Arruda et al. (2004) citam pesquisas, em que foi obtido bom desempenho em motores a dieses com uso de óleo de pinhão; contudo seu consumo é maior, devido à diferença do poder calorífico com relação ao diesel.

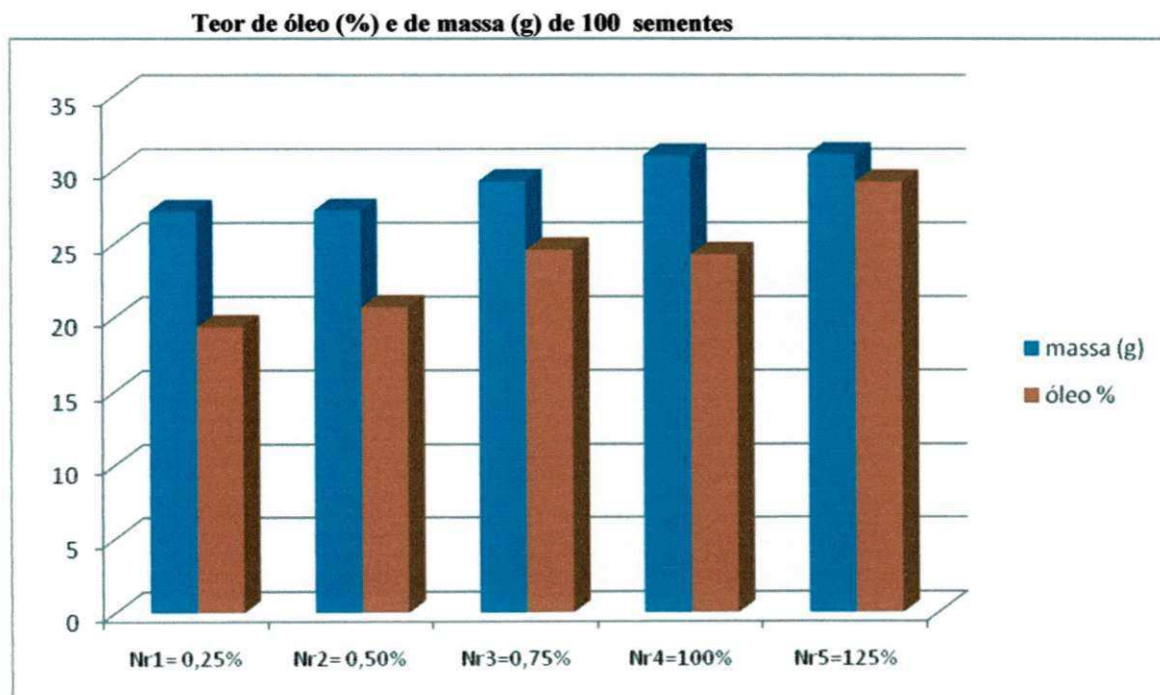


Figura 13. Médias da quantidade de massa em (g), e teor de óleo (%) de sementes de pinhão manso aos 480 dias após transplante, em experimento realizado em Campina Grande (PB), de mar-nov/ 2009

5.9. Consumo de água

De acordo com os dados da análise de variância, houve efeito significativo dos tratamentos, em todos os períodos (Tabela 14). O consumo de água aumentou com o crescimento das plantas. No tratamento Nr₁, o consumo atingiu em média 100,94 litros, comparado a 412,26

litros consumidos pelas plantas em Nr₅. No último período de estudos (450 a 480 DAT), foram consumidos 39,32 litros pelas plantas, no tratamento 0,25 ETc (Nr₁) e 62,07 em 1,25 ETc (Nr₅). Este resultado está diretamente relacionado com a queda das folhas das plantas devido ao início do descanso vegetativo no final do período experimental. Lacerda (2006), estudando a cultivar BRS Paraguaçu de mamoneira, em condições de estresse hídrico e dois níveis de matéria orgânica (5,0 e 25,0 g kg⁻¹), verificou que as plantas cultivadas em substrato mais rico em matéria orgânica consumiram maior volume de água, em razão da maior produção de biomassa.

Em pesquisa realizada com a cultura da mamoneira, irrigada com água de abastecimento, sem fertilizantes, Xavier (2007) observou um crescimento lento das plantas, que não atingiu a floração, e o consumo total de água foi baixo (45 litros), enquanto aquelas irrigadas com água superficial poluída chegaram a consumir acerca de 466 litros em 135 dias, devido ao maior crescimento e desenvolvimento das plantas. Foi constatado, nesta pesquisa, maior consumo e maior crescimento e desenvolvimento das plantas, nos tratamentos 1,00 e 1,25 da evapotranspiração, em relação a 0,25, 0,50 e 0,75 da ETc.

Tabela 14. Resumos das análises de regressão do consumo de água de plantas do pinhão manso irrigado com água superficial poluída aos 210,240,270,300,330,360,390,420,450 e 480 dias após transplântio. Campina Grande 2009

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		210DAT Set/08	240 DAT Out/08	270 DAT Nov/08	300 DAT Dez08	330 DAT Jan/09	360 DAT Fev/09	390 DAT Maç/09	420 DAT Abr/09	450 DAT Maio/09	480 AT Jun/09
Nível de Reposição (Nr)	4	6715,39**	38945,10**	71250,88**	384193,57**	272333,27**	384,28**	67885,65**	10973,23**	2560,51**	294,17**
Regressão Linear	1	25285,81**	153660,81**	276906,24**	1536694,88**	1089033,00**	1418,48**	271409,15**	43606,21**	10018,80**	1077,44**
Regressão Quadrática	1	1484,23**	1902,44**	7649,46**	28,94 ^{ns}	144,96*	64,71*	131,76**	263,61 ^{ns}	132,53 ^{ns}	16,28 ^{ns}
Regressão Cubica	1	91,20*	162,40 ^{ns}	69,43*	20,76 ^{ns}	148,99*	52,67 ^{ns}	0,99 ^{ns}	7,56 ^{ns}	89,70 ^{ns}	39,60 ^{ns}
Regressão 4º grau	1	0,31 ^{ns}	54,73 ^{ns}	378,39**	29,69 ^{ns}	6,12 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,71 ^{ns}	15,55 ^{ns}	1,03 ^{ns}	43,37 ^{ns}
Blocos	3	5,06 ^{ns}	25,62 ^{ns}	24,91 ^{ns}	7,25 ^{ns}	5,54 ^{ns}	19,72 ^{ns}	2,92 ^{ns}	12,00 ^{ns}	18,63 ^{ns}	17,04 ^{ns}
Resíduo	12	10,71	62,54	14,11	6,60	16,46	13,05	4,06	70,72	60,36	26,68
CV(%)		3,08	3,55	1,27	0,43	0,79	28,35	0,78	6,79	5,96	10,05

Tratamentos	Médias em (L)									
Nr ₁ (0,25 ETc)	47,25	85,54	108,50	203,62	182,52	104,20	90,85	53,62	94,05	39,32
Nr ₂ (0,50 ETc)	83,47	168,84	217,00	398,00	346,82	223,15	177,10	93,02	119,28	47,15
Nr ₃ (0,75 ETc)	116,45	237,04	326,15	595,10	518,77	321,00	261,82	126,72	133,05	54,82
Nr ₄ (1,00 ETc)	139,80	284,74	388,67	787,12	684,55	439,65	342,47	160,80	144,95	53,55
Nr ₅ (1,25 ETc)	144,80	337,49	438,67	989,07	829,67	555,72	420,02	184,82	160,35	62,07

Na Figura 14, pode ser observada diminuição do consumo hídrico pelas plantas, a partir de 360 dias após transplante, coincidindo com a queda intensiva de folhas, pelo fato de ser o pinhão manso uma espécie caducifólia; a queda no consumo de água, coincide com o período de descanso vegetativo.

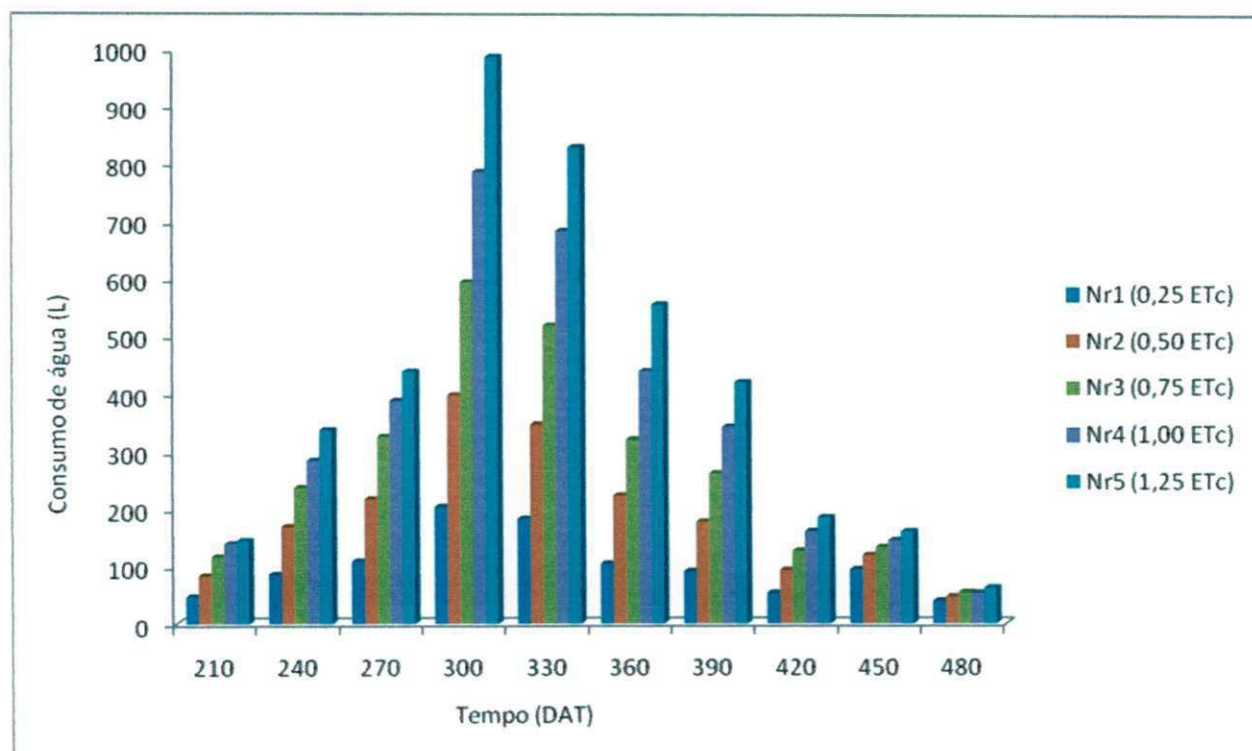


Figura 14. Consumo de água mensal de pinhão manso, irrigado com água superficial poluída, dos 210 aos 480 dias após transplante. Campina Grande-PB, 2009.

5.10. Evapotranspiração da cultura

Na Tabela 15 observa-se que a evapotranspiração da planta de pinhão manso foi significativo em todos os períodos estudados, tendo uma média de 3,2mm nas plantas induzidas ao estresse hídrico, ou seja nas plantas irrigadas com 0,25% da Etc, já nas plantas irrigadas de acordo com suas necessidades, ou seja as submetidas a 1,00% e 1,25% da reposição obtiveram uma média de 8,3mm e 9,9mm de Evapotranspiração.

A evapotranspiração pode ser definida, como um processo combinado de transferência de água do solo para a atmosfera, incluindo a evaporação da água do solo diretamente e o processo de transpiração dos tecidos vegetais (VESCOVE e TURCO, 2005).

Os lisímetros vêm sendo usados há cerca de 300 anos e, sem dúvida alguma, continuam sendo considerados, até o presente, como a principal ferramenta para estudos de evapotranspiração (ABOUKHALED et al., 1986).

O conhecimento da evapotranspiração de uma cultura, ao longo de seu ciclo é de grande importância para o dimensionamento e o manejo de sistemas de irrigação. Isso contribui para o aumento da produtividade e para a otimização da utilização dos recursos hídricos, da energia elétrica e dos equipamentos de irrigação (MIRANDA et al., 2001).

Tabela 15. Resumo das análises de regressão da Evapotranspiração de plantas do pinhão manso irrigado com água superficial poluída aos 210,240,270,300,330,360,390,420,450 e 480 dias após transplantio. Campina Grande-PB, 2009.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios									
		210DAT Set/08	240 DAT Out/08	270 DAT Nov/08	300 DAT Dez08	330 DAT Jan/09	360 DAT Fev/09	390 DAT Maç/09	420 DAT Abr/09	450 DAT Maio/09	480 AT Jun/09
Nível de Reposição (Nr)	4	3,31**	19,73**	19,99**	189,77**	134,48**	0,41**	33,51**	5,54**	1,26**	0,14**
Regressão Linear	1	12,48**	78,06**	76,34**	759,07**	537,80**	1,42**	133,99**	22,02**	4,94**	0,53**
Regressão Quadrática	1	0,72**	0,74**	3,45**	0,01 ^{ns}	0,07*	0,13*	0,06**	0,16 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,008 ^{ns}
Regressão Cubica	1	0,04*	0,009 ^{ns}	0,03*	0,01 ^{ns}	0,07*	0,05 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Regressão 4º grau	1	0,001 ^{ns}	0,13**	0,14**	0,01 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Blocos	3	0,002 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,007 ^{ns}
Resíduo	12	0,005	0,003	0,006	0,003	0,008	0,02	0,002	0,04	0,02	0,01
CV(%)		2,64	1,25	1,00	0,43	0,77	4,04	0,79	4,70	4,00	4,90

Tratamentos	Médias Evapotranspiração									
Nr ₁ (0,25 ETc)	1,43	2,01	4,90	4,60	4,51	3,98	2,07	2,95	3,52	2,08
Nr ₂ (0,50 ETc)	2,23	3,66	6,82	8,92	8,14	5,47	3,99	3,86	4,08	2,25
Nr ₃ (0,75 ETc)	2,97	5,38	8,74	13,3	11,96	8,56	5,87	4,61	4,38	2,40
Nr ₄ (1,00 ETc)	3,48	6,45	9,70	17,56	15,65	10,69	7,66	5,37	4,65	2,43
Nr ₅ (1,25 ETc)	3,60	7,60	10,36	22,05	19,10	13,81	9,38	5,90	4,99	2,59

De acordo com a Figura 15, a evapotranspiração da cultura do pinhão manso foi aumentando com o crescimento / desenvolvimento da cultura; os maiores índices ocorreram nos períodos compreendidos entre 270 e 360 dias após transplante, período esse com temperaturas máxima em torno de 30,5°C e mínima de 20,8°C. A partir de 390 DAT, registrou-se queda da evapotranspiração, devido à abscisão das folhas, refletindo-se na redução da evapotranspiração.

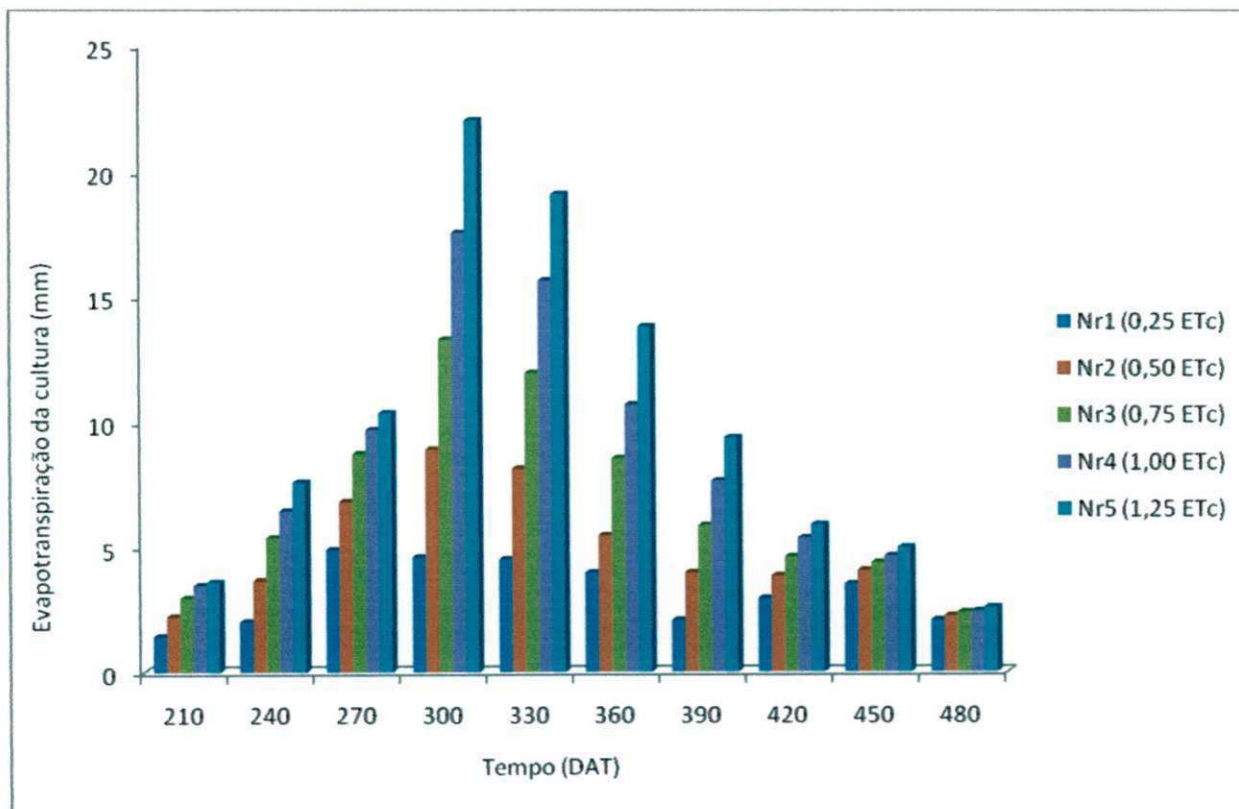


Figura 15. Evapotranspiração de pinhão manso irrigado com água superficial poluída dos 210 aos 480 dias após transplante. Campina Grande, 2009.

5.11. Coeficiente de cultivo (kc)

Os valores do coeficiente de cultivo (kc) do pinhão manso, estimados em períodos quinzenais, para a condição de 100% de reposição da evapotranspiração, com água superficial poluída, estão contidos na Tabela 16.

Observou-se aumento do kc de pinhão manso, no decorrer do período experimental, devido ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Pode-se verificar que os maiores valores de Kc foram determinados no período em que as plantas atingiram a maior área foliar, conseqüentemente, maior consumo de água (Tabela 16).

Tabela 16. Dados de Evapotranspiração da cultura (ETc), Evapotranspiração de referencia (ETo) e Coeficiente de cultivo (kc) do pinhão manso, em vários períodos de crescimento e produção, pelo método de Samani-Hargreaves, utilizando a temperatura ambiente. Campina Grande-PB, 2009.

Períodos DAT		ETc	ETo	kc
210-225	Floração	2,23	6,24	0,35
225-240	Set	4,34	8,97	0,48
240-255	Floração	7,40	13,71	0,53
255-270	Out	7,56	14,45	0,52
270-285	Maturação	7,28	14,11	0,51
285-300	Nov	12,32	14,67	0,83
300-315	Colheita	20,78	14,43	1,44
315-330	Dez	22,88	15,16	1,50
330-345	Colheita	24,02	15,14	1,58
345-360	Jan	15,58	14,02	1,11
360-375	Colheita	4,82	10,41	0,46
375-390	Fev	2,94	5,46	0,53
390-405	Colheita	7,54	9,44	0,79
405-420	Mar	10,48	8,59	1,22
420-435	Colheita	8,50	8,78	0,96
435-450	Abril	4,00	8,11	0,49
450-465	Descanso vegetativo	5,69	7,65	0,74
465-480	Mai	4,58	7,69	0,59
Média		9,60	10,94	0,87

5.12. Análise econômica

Em estudos desenvolvidos pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Integração Nacional e Ministério das

Cidades, foi demonstrado que a cada 1% de substituição de óleo diesel por biodiesel, produzido com a participação da agricultura familiar, podem ser gerados cerca de 45 mil empregos no campo, com uma renda média anual de, aproximadamente, R\$4.900,00 por emprego. Admitindo-se que para 1 emprego no campo são gerados 3 empregos na cidade, seriam criados, então, 180 mil empregos. Numa hipótese otimista de 6% de participação da agricultura familiar no mercado de biodiesel, seriam gerados mais de 1 milhão de empregos (PACHECO, 2008).

O benefício potencial associado aos bicomcombustíveis é o seu impacto positivo no emprego agrícola e de subsistência. A cana-de-açúcar que é a base para a produção do etanol no Brasil, por exemplo, já emprega cerca de um milhão de trabalhadores e este número deverá crescer em 20 por cento nos próximos cinco anos. A maioria desses empregos são preenchidos por trabalhadores com menor qualificação profissional das áreas rurais (MACEDO 2005)

A produção de oleaginosas em lavouras familiares faz com que o biodiesel seja uma alternativa importante para a erradicação da miséria no país, pela possibilidade de ocupação de enormes contingentes de pessoas. Na região semiárida nordestina vivem mais de 2 milhões de famílias, em péssimas condições de vida. A inclusão social e o desenvolvimento regional, especialmente via geração de emprego e renda, devem ser os princípios orientadores básicos das ações direcionadas ao biodiesel, o que implica dizer que sua produção e consumo devem ser promovidos de forma descentralizada e não excludente, em termos de rotas tecnológicas e matérias-primas utilizadas (PACHECO, 2008).

No Brasil, não há escala grande o suficiente para se saber o preço comercial de uma tonelada de sementes de pinhão manso. Na Índia, essa quantia de sementes pode ser comprada por 5.000 rupias indianas, o que equivale, nas cotações de final de setembro de 2006, a quase R\$ 250,00. Isto significa que, se no Brasil o preço de comercialização for o mesmo, uma tonelada de óleo poderá ser obtida a partir de R\$ 675,00, valor correspondente das sementes de pinhão manso.

De acordo com o conversor de moedas do Banco Central do Brasil, na data 29/01/2010, uma Rupia equivale a 0,04 centavos de real, com esta cotação teríamos o valor de uma tonelada equivalente a R\$ 200,000 reais. Usando como base de cálculo esse valor, e para a mão-de-obra o salário mínimo de 465 R\$, observa-se na tabela 15 à análise econômica da

produção das plantas referentes a 100% da evapotranspiração de pinhão manso irrigado com água superficial poluída.

De acordo com a Tabela 17, foram contabilizados todos os gastos para obtenção das sementes de pinhão manso ao final dos 480 DAT, verifica-se um gasto total e de 211,20 (duzentos e onze reais e vinte centavos) para produzir 7.423 sementes.

Tabela 17. Custo de produção de pinhão manso irrigado com água superficial poluída dos 210 aos 480 DAT.

ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO	VALOR (R\$)
1. Insumos				
Sulfato de amônio	kg	100kg	780/t	7,80
Cloreto de potássio	kg	100kg	1,100/t	110,00
Subtotal				117,80
2. Irrigação: mão-de-obra	d/h	80h	2,64	211,20
Subtotal				211,20
3. Tratos culturais				
Aplicação de herbicidas	h/tr	3	2,64	7,92
Adubação de cobertura	d/h	3	2,64	7,92
Subtotal				15,84
3. Colheita				
Colheita manual de frutos	Unidade	1652	2,64	105,60
Número de sementes extraídas dos frutos	Nº	7.423	2,64	105,60
Subtotal				(R\$) 211,20

6. CONCLUSÕES

- A área foliar do pinhão manso é a variável de crescimento mais sensível ao estresse hídrico, principalmente no período vegetativo.
- O diâmetro caulinar do pinhão manso é a variável menos afetada pelo estresse hídrico.
- Ocorre aumento de 37,95 para 81,37 no número médio de frutos e de 4.594 para 9.805 no número médio de sementes, entre os tratamentos com 0,25 e 1,25 da ETc.
- A produção máxima das plantas, irrigadas com água superficial poluída, é de 730 sementes, no tratamento 1,25 de reposição da evapotranspiração, sem diferenças entre os níveis 0,75 e 1,00 da ETc, com produção média de 546 sementes.
- O uso de água residuária aumenta o teor de óleo das sementes, variando de 18,5% no tratamento de 0,25 da evapotranspiração da cultura para 23,5% em 1,00 e 27% em 1,25 da evapotranspiração da cultura, aos 480 dias após transplante.
- O consumo médio total de água por planta, até 480 dias após transplante é de 100,94 litros, nas plantas irrigadas com 0,25% da evapotranspiração, enquanto que nas irrigadas com 1,25% da evapotranspiração, o consumo médio passa para 412,26L por planta.
- A ETc média das plantas (mm dia^{-1}), varia de 3,11 para 8,94 litros, nos tratamentos de 0,25 e 1,25 da ETc, respectivamente.
- O melhor valor médio, para o coeficiente de cultivo do pinhão na condição de 100% de reposição da evapotranspiração, é de 1,07.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABA - ANUÁRIO BRASILEIRO DE AGROENERGIA, Santa Cruz do Sul, Ed: *Gazeta*, 2007
- ABOUKHALED, A.; ALFARO, J. F.; SMITH, M. *Los Lisímetros*. Roma: FAO, 1986.60p. (Estudio FAO Riego y Drenaje, 24).
- ACKOM, E. K.; ERTEL, J. **An alternative energy approach to combating desertification and promotion of sustainable development in drought regions**. In: FORUM DER FORSCHUNG, 18, 2005, Eigenverlag. *Anais...* Eigenverlag: BTU Cottbus, 2005, p. 74-78.
- ADAM S. E. **Toxic effects of *Jatropha curcas* in mice**. *Toxicology*. 1974. p.67-76.
- AGENCIA NAIONAL DAS AGUAS. *Água, fatos e tendências. Brasília and future*. *Water Science e Technology*, v 33.2006.p. 1-14,
- Água em revista*. Belo Horizonte: CPRM, p.36, maio, 1996. Suplemento das Águas.
- ALBUQUERQUE, W. G.; AZEVEDO, C. A. V.; BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, M. A. O.; NASCIMENTO, J. V. R. J. **Crescimento do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em função de níveis de água e adubação nitrogenada**. In: III Congresso Nacional da Mamona - Energia e Bioquímica *Anais...* Campina Grande: Embrapa Algodão. 2008. CD-Rom.
- AL-JALOUD, A. A.; HUSSAIN, G.; AL-SAATI, J.; KARIMULLA, S. **Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants a pot experiment**. *Journal of Plant Nutrition*, v.18, 1995.p.1677-1692
- AL-NAKSHABANDI, G.A.; SAQQAR, M.M.; SHATANAWI, M.R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. **Some enviromental problems associated with the use of treated wasterwater for irrigation in Jordan**. *Agricultural Water Management*, v.34, 1997. p.81-94,.
- AMORIM ,P. Q. R. **Perspectiva histórica da cadeia da mamona e a introdução da produção de biodiesel no semi-arido brasileiro sob o enfoque da teoria dos custos de transação**. Piracicaba, SP, , 2005. 94p (Monografia- USP/ ESALQ).
- ANGELAKIS, A. N.; MARECOS DO MONTE,M.H.F.; BONTOUX, L.; ASANO,T. **the status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines**. *Water Research*, v33, 1999, p. 2201-2217,
- ANGUS, J. F.; van HERWAARDEN, A. F. **Increasing water use and water efficiency in dryland wheat**. *Agronomy Journal*, Madison, WI , v. 93, p.290-298, 2001.
- ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semiárido nordestino**. *Revista de oleaginosas e fibrosas*, v. 8, 2004. p. 789-799.
- ASANO,T.; LEVINE, A. D. **Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present,and future**. *Water Science e Technology*,v 33, 1996,p. 1-14,
- AUGUSTUS, G. D. P. S.; JAYABALAN, M.; SEILER, G. J. **Evaluation and bioinducion of energy components of *Jatropha curcas***. *Biomass & Bioenergy*, v. 23, 2002, p. 161-164,

AVELAR, R. C.; JÚNIOR, D.; APARECIDO, M.; CARVALHO, J. P. F. **Produção de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em tubetes.** In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2005. Varginha. Resumos... Viçosa, 2005, p. 298-301.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura.** 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado

AZEVEDO, H. **Avaliação preliminar do potencial do pinhão manso para a produção de Biodiesel.** 2006

BALKS, M. R.; BOND, W. J.; SMITH, C. J. **Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation.** *Australian Journal of Soil Research*, v.36, 1998, p.821-830,.

BALKS, M.R.; BOND, W.J; SMITH, C.J. **Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation.** *Australian Journal of Soil Research*, v.36, 1998, p.821-830.

BELTRÃO, N. E. M. **Considerações gerais sobre o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e a necessidade urgente de pesquisas, desenvolvimento e inovações tecnológicas para esta planta nas condições brasileiras.** Campina Grande - PB, 2006.

BERGAMASCHI, H. **Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas.** In: BERGAMASCHI, H. et al. (Ed.). **Agrometeorologia aplicada a irrigação: Porto Alegre:** Editora da Universidade, 1999. cap. 2, p. 25-32.

BERNARDI, C.C. **Reuso de água para irrigação.** 2003. Monografia (MBA em Gestão Sustentável da agricultura Irrigada, área de concentração Em função da relação entre escassez de Pleirjamento Estratégico). ISAEFGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, 2003

BIELORAI, H.; VAISMAN, I.; FEIGIN, A. **Drip irrigation of cotton with treated municipal effluents: I. Yield response.** *Journal of Environmental Quality*, v.13, 1984, p.231-234,.

BIODIESEL. Varginha, 2007. **Anais...** Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. p.547-554.

BLUM, D.; FEACHEM, R.G. **Health Aspects of Nigthsoil and Sludge Used in Agriculture and Aquaculture.** Part III: An Epidemiological Perspective. Report N° 05/85. Duenbendorf, Switzerland. International Reference Centre for Waste Disposal, 1985.

BOUWER, H. **Integrated water management: emerging issues and challenges.** *Agricultural Water Management*, v.45, 2000, p.217-228.

BOUWER, H.; CHANEY, R. L. **Land treatment of wastewater.** *Advances in Agronomy*, v.26, 1974, p.133-176.

BOUWER, H.; IDELOVITCH, E. **Quality requirements for irrigation with sewage water.** *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.113, 1987, p.516-535,

BRASIL, Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais.** Brasília: STI/CIT, 1985, 364p

- BRASIL. Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Nacional de Agroenergia-2006-2011. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005^a. p.118
- BRASIL. Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Nacional de Agroenergia-2006-2011. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003.
- CALLE, M.J.L.; G.J. COELLO, B.F.; ACOSTA, P.P.; CASTRO, R.M.; NAZARIO L.C.; BAZÁN. 2005. **Producción de biodiesel a pequena escala a partir de recursos oleaginosos amazónicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, II, Varginha.
- CAMERON, K.C.; DI, H.J.; McLAREN, R.G. **Is soil an appropriate dumping ground for our waster** *Australian Journal of Soil Research*, v.35, 1997, p.995-1035.
- CARNIELLI, F. **O combustível do futuro**. 2003.
- COELHO, M. A.; SONCIN, N. B. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Moderna. 1982. 368p.
- COLETTI, A. J.; DALLACORT, R.; MARTINS, J. A. **Número de sementes por fruto da cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. In: II Semana de Ciência e Tecnologia e IV Mostra Interdepartamental de Trabalhos Acadêmicos da UNEMAT, 2008, Tangará da Serra, 2008. p.7-98.
- CORTESÃO, M. **Culturas tropicais: plantas oleaginosas**. Lisboa: Clássica, 1956. 231p.
- CRITES, R.; TCHOBANOGLIOUS, G. **Small and Decentralized Wastewater Management Systems**. McGraw-hill, EUA, 1998.
- DAY, A. D.; McFADYEN, J.A.; TUCKER, T.C.; CLUFF, C.B. **Commercial production of wheat grain irrigated with municipal water and pump water**. *Journal of Environmental Quality*, v.8, 1979, p.403-406.
- DAY, A. D.; RAHMAN, A.; KATTERMAN, F.R.H.; JENSEN, V. **Effects of treated municipal wastewater and commercial fertilizer on growth, fiber, acid-soluble nucleotides, protein, and amino acid content in wheat hay**. *Journal of Environmental Quality*, v.3, 1974, p.17-19.
- DAY, A. D.; TAHER, F.A.; KATTERMAN, F.R.H. **Influence of treated municipal waste water on growth, fiber, acid-soluble nucleotides, protein, and acid content in wheat grain**. *Journal of Environmental Quality*, v.4, 1975, p.167-169.
- DAY, A. D.; TUCKER, T.C. **Effect of treated municipal wastewater on growth, fiber, protein, and amino acid content of sorghum grain**. *Journal of Environmental Quality*, v.6, 1977, p.325-327.
- DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI, A. **Cultivo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.): para produção de óleo combustível**. Viçosa – MG, 2007. 40p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DRUMOND, M. A. et al. **Produção de pinhão manso no semiárido brasileiro**, 2007.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 2 ed. 1997. 212p.

- ENGLISH, M.; RAJA, S. N. 1996, **Perspectives on deficit irrigation**. Agr. Water Manage. 32, 1-14p.
- FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.
- FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 2ed. Revisada e ampliada. Maceió: UFAL/EDUFAL/FUNDEPES, 2000. 437p.
- FRIEDLER, E.; JUNIACO, M **Tratament and storage of wastewater for agricultural irrigation**. Agritec. 1996.
- GHASSAN, T. Q.; MOHAMAD, I.; AL-WIDAN, B.; ALI, O, **A Combustion performance and emissions of ethyl ester of a waste vegetable oil in a water-cooled fumace**, Applied Thermal Engineer, v, 23, 2003, p. 285-293.
- GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. In: **Simpósio Manejo e controle de salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. 383p
- HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. 2001, **Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review**. Agron. J. 93, 2004, 271-280p.
- HELLER, J. **Physic nut (*Jatropha curcas* L.) – Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops**. 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben (Germany) / International Plant Genetic Resources Institute, Rome (Italy), 1996.66p.
- HERNANDEZ, F. B. T. **Determinação do consumo de água na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) na região de Jaboticabal-SP**, 1991. 77p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Prof. Julio de Mesquita Filho: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP.
- HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil - agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos**. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.7, 2002, p.75-95.
- HSIAO, T. C. **Plant response to water stress**. **Annual Review of Plant Physiology**, v.24. 1973, p.519-570.
- HUSSAIN, G.; AL-JALOUD, A.A.; KARIMULLA, S. **Effect of treated effluent irrigation and nitrogen n yield and nitrogen use efficiency of wheat**. **Agricultural Water Management**, v.30, 1996, p.175-184.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A, 2004.
- KONIG, A.; CEBALLOS, B. S. O. **Reuso de Água Residuárias na Agricultura – Uma Alternativa para a Produção Agrícola e Controle da Poluição Ambiental**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, Campina Grande, PB **Anais...** Campina Grande: 1997.
- LACERDA, R. D. de. **Resposta da mamoneira BRS 188-Paraguaçu a diferentes níveis de água e matéria orgânica no solo**. Campina Grande. 2006. 82p. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal de Campina Grande.

- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: PRADO, C. H. B. A. São Carlos: Rima, 2000. 531p.
- LAW, J. P. Jr.; BERNARD, H. Impact of agricultural pollutants on water uses. Transactions of the ASAE, v.13, n.4, p.474-478, 1970.
- LEÓN SUEMATSU, G.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Tradução de GHEYI, H. R.; KONIG, A.; CABALLOS, B. S. O.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande, UFPB. 1999, 109p.
- LOPES, A.A. UNESP Jaboticabal testa Biodiesel que pode garantir a criação de empregos. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, v.114, 2004, Seção II, p 2.
- MACEDO, I.D.C. **Sugar cane's energy: twelve studies on brazilian sugar cane agribusiness and its sustainability**. São Paulo: ÚNICA, 2005.
- MAKKAR H. P. S.; BECKER K.; SPORER, F.; AND WINK M. **Studies on Nutritive Potential and Toxic Constituents of Different Provenances of *Jatropha curcas*: J. Agric. Food Chem.**, 1997.
- MALINOWSKI, S. **Aplicação de metodologias para a estrutura de diretrizes para o planejamento de reuso de água no meio urbano**. Dissertação de mestrado apresentada à univ. Federal do Paraná, 2006.
- MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reuso de água**. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, 2003.
- MARECOS, M.H.; SOUSA, M.E.S. Reutilização de águas residuárias para rega em Portugal. Recursos Hídricos, v.14, 1993, p.1-4.
- METCALF; EDDY. **Ingeniería de aguas Residuarias: Tratamiento, Vertido y Reutilización**. Tercera Edición, McGraw-hill/Interamericana de España, S.A., Madrid, España, 1995 Pramanik, K. Properties and use of *Jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renewable Energy*, v. 28, 2003, p. 239-248.
- MIALHE, L.G. **Maquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. p.722.
- MIRANDA, J.H. ; GONÇALVES, A.C.A.; CARVALHO, D.F. Água e solo. In: In: MIRANDA, J.H., PIRES, R.C.M. Irrigação. Piracicaba: FUNEP, v.1, 2001, p.1-62.
- MUFFAREG, M.R. Análise e discussão dos conceitos e legislação sobre reuso de águas residuárias. Dissertação (Mestrado)- Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro. 2003. 72p.
- MURPHY, N.; MHIA, S.A.; RAJ, P.K. **Summary and assessment of the safety, health, environmental and system risks of alternative fuels**. Helena: U.S. Departamento de Transportation, Federal Transit Administration, 1995. p.28.
- NUNES, C.F. **Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão manso**, Dissertação (Mestrado), UFLA, 2007, 78p.
- NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Coordenação Ariovaldo Nuvolari. São Paulo: Edgard Blücher, 2003, 520p.

RODRIGUES, L. N. **Níveis de reposição da evapotranspiração da mamoneira irrigada com água residuária**, 2008. 144p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB

SALATI,E.;LEMONS,H.M.;SALATI,E. **água e o desenvolvimento sustentável**. In: REBOUÇAS,A.C.; TUNDISI,J.G. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2 ed., São Paulo: Escrituras Editora,2002

SANTOS,I.J.; SOUZA,M.A.A. **Reuso de água: Uma análise da adequabilidade da utilização das águas residuárias tratadas no distrito federal**. In: Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia e Ambiental. ABES- Associação brasileira de Engenharia Sanitaria e Ambiental, 2000.

SATURNINO, H. M. et al. **Implantação de unidades de validação de tecnologia pinhão manso**. Nova Porteirinha, 2006. 5 p. Projeto de Pesquisa, Centro Tecnológico do Norte de Minas Gerais, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Nova Porteirinha, 2006.

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

SEVERINO, L. S.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. **Método para medição da área foliar do pinhão manso**. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, Brasília. *Anais...*, Brasília, MCT/ABIPTI, 2006. p. 73-77.

SHUVAL, H.I.; ADIN, A.; FATTAL, B.; RAWITZ, E.; YEKUTIEL, P. *Wastewater Irrigation in Developing Countries: Health Effects and Technological Solutions*. World Bank Technical Paper Number 51. The World Bank, Washington , DC. 1986.

SILVA, F. C. **Uso de dispositivos lisimétrico para medida da evapotranspiração de referência**. Piracicaba, 1996. 68p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. **Incremento de fitomassa e produtividade do amendoimzeiro em função de lâmina e intervalos de irrigação**. *Revista de Oleaginosas e Fibrosas*, v.4, 2000, p.11-121,.

SILVA, M.B.; RODRIGUES. **Crescimento,desenvolvimento e produção do pinhão manso irrigado com água residuária em função da evapotranspiração**. Campina Grande, 2009. Tese (Doutorado) UFCG.

SILVA, N. D. **Cultivo do pinhão manso para produção de biodiesel**. Viçosa-MG, Centro de Produções Técnicas - CPT, 2008. 220p

SILVA, S. M. S. **Germinação, crescimento e desenvolvimento de genótipos de mamoneiro irrigados com águas salinas**. Campina Grande: UFCG, 2005. 74p. Dissertação de Mestrado.

SILVA, V.P.R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. Campina Grande. DCA/CCT/UFCG, 2000, 126p. (Tese de Doutorado).

SITTON,D. **Desarrollo de recursos hídricos limitados: Aspectos históricos**, 2000.

SMITH, C. J.; HOPMANS, P.; COOK, F. J. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v.94, 1996, p.317-323.

SOUSA, J. T.; LEITE, V. D. **Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: EDUEP, 2003. 135p.

SPEIR, T. W.; VAN SCHAİK, A. P.; KETTLES, H. A.; VICENT, K. W.; CAMPBELL, D. J. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land. **Journal of Environmental Quality**. 1999, p.1105-1114.

STEWART, H.T.L.; HOPMANS, P.; FLINN, D.W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental pollution**, v.63, 1990, p.155-177.

STIRPE, F.; PESSION-BRIZZI, A.; LORENZONI, E.; STROCCHI, P.; MONTANARO, L.; SPERTI S. Studies on the proteins from the seeds of *Croton tiglium* and of *Jatropha curcas*. Toxic properties and inhibition of protein synthesis in vitro. **Biochemical Journal**, Londres, v.156, 1976, p.1-6.

STRAUSS M.; BLUMENTHAL, U.J. **Human Waste Use In Agriculture and Aquaculture**. Utilization Practices and Health Perspectives. IRCWD Report N°08/89, 1989, 250 p

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 3.ed, 2004. 719p.

TEXEIRA, L.C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. Informe Agrpecário. Belo Horizonte, v.26, 2005, p.18-27ª.

TOMINAGA, N.; KAKIDA, J.; YASUDA, E. K.; SOUSA, L. A. S.; RESENDE, P. L.; SILVA, N. D. **Cultivo do pinhão manso para produção de biodiesel**. Viçosa-MG, Centro de Produções Técnicas - CPT, 2007. 220p.

VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HORAN, N. J.; MARA, D. D. **Management of domestic wastewater for use in irrigation**. **Water Science e Technology**. 1996, p355-362.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. **Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara – SP**. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, 2005, p.713 -721,

WHO. **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture**. World Health Organisation Technical Report Series, No 778. World Health Organisation,

XAVIER, J. F. **Águas residuárias provenientes de indústrias e seus efeitos no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS Nordestina**, 2007. 101p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.