

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



# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

## Tese de Doutorado

UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS MARGINAIS  
E FÓSFORO NO CULTIVO  
DO PINHÃO-MANSO

ANTONIO EVAMI CAVALCANTE SOUSA

Biblioteca UFCG  
SMBC\_CDSA  
CAMPUS DE SUMÉ  
Reg.10549/12

Campina Grande  
Paraíba



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



**TESE**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS MARGINAIS E FÓSFORO  
NO CULTIVO DO PINHÃO-MANSO**

**ANTONIO EVAMI CAVALCANTE SOUSA**

**Campina Grande - Paraíba**

**NOVEMBRO – 2011**

**ANTONIO EVAMI CAVALCANTE SOUSA**

**Tecnólogo em Recursos Hídricos e Irrigação**

**UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS MARGINAIS E FÓSFORO  
NO CULTIVO DO PINHÃO-MANSO**

Orientador: **Dr. HANS RAJ GHEYI**

Orientador: **Dr. FREDERICO ANTONIO LOUREIRO SOARES**

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



**Campina Grande – Paraíba**

**NOVEMBRO – 2011**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S819u Sousa, Antonio Evami Cavalcante.  
Utilização de águas marginais e fósforo no cultivo do pinhão-manso /  
Antonio Evami Cavalcante Sousa. – Campina Grande, 2011.  
165 f. : il.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de  
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.  
Orientadores: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi, Prof. Dr. Frederico Antônio  
Loureiro Soares.

Referências.

1. *Jatropha curcas* L. - Pinhão-manso. 2. Reúso. 3. Índices  
Fenológicos. 4. Produtividades. 5. Condutividade Elétrica.  
I. Título.

CDU 633.85 (043)



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



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

ANTONIO EVAMI CAVALCANTE DE SOUSA

UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS MARGINAIS E FÓSFORO NO CULTIVO DO PINHÃO-MANSO

BANCA EXAMINADORA

Hans Raj Gheyi  
Dr. Hans Raj Gheyi - Orientador

Frederico Antonio Loureiro Soares  
Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares - Orientador

Claudivan Feitosa de Lacerda  
Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda - Examinador

Reginaldo Gomes Nobre  
Dr. Reginaldo Gomes Nobre - Examinador

Vera Lúcia Antunes de Lima  
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima - Examinadora

Lourival Ferreira Cavalcante  
Dr. Lourival Ferreira Cavalcante - Examinador

PARECER

Aprovado

APROVADO

APROVADO

APROVADO

APROVADO

APROVADO



NOVEMBRO - 2011

A meus pais, Evandi e Elzimi, pelo amor e empenho na minha formação moral e intelectual, sem se deixar intimidar pelos obstáculos impostos pela vida e a meus irmãos, Erandi e Emanuelle, pelo apoio que sempre recebi.

**OFEREÇO**

A minha esposa, Galgane, parceira no amor, companheira na construção permanente da qualidade de vida conjugal e no crescimento de nossas filhas.

A minhas filhas, Ivna e Thaís pelo amor, afeto e admiração e por me terem ajudado a aprender a respeitar, admirar e amar as pessoas nas diferenças. Com todo o meu amor!

**DEDICO**



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, Senhor Pai, que está acima de tudo e de todos e me proporciona oportunidades, obstáculos e perseverança, fazendo-me chegar a todos os meios necessários à realização deste trabalho, concedendo-me sempre a graça de Sua imensa misericórdia.

Ao Prof. Dr. Hans Raj Gheyi, deixo um agradecimento especial pela orientação clara, precisa e eficiente; agradeço-lhe pela dedicação, contribuindo a cada dia pelo aprimoramento do trabalho e por estar sempre disponível para me ajudar em qualquer dificuldade.

Ao Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares, pela amizade, orientação, compreensão, paciência e apoio, desde o princípio do curso e até o final deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda, pelas valiosas sugestões na execução do experimento e na melhoria deste estudo.

Ao Prof. Dr. Reginaldo Gomes Nobre, pelo apoio, amizade, disponibilidade e sugestões na execução do experimento e na melhoria desta tese.

À Profª. Dra. Vera Lucia Antunes de Lima, pelas valiosas sugestões em prol da melhoria deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Lourival Ferreira Cavalcante, pelas valiosas sugestões para a melhoria deste trabalho.

À Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade de fazer o curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Irrigação e Drenagem.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa e apoio financeiro na execução do trabalho.

Aos professores da Pós-graduação Berto Machado, Lucia Helena, Hugo Guerra, José Dantas Neto, Josivanda Palmeira e Pedro Dantas.

Aos funcionários do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG, Francisco Alves (Chico), Francisco de Assis (Doutor), Wilson, Rivanilda, Aparecida, Sonia, Val e Aldaniza.

À graduanda e bolsista com quem sempre pude contar e que tenho admiração, Elka Costa dos Santos Nascimento.

Aos estimados amigos de irmandade Karina Guedes, Kelliane Silva, Allan Nunes, Walber Breno, Cícero Terceiro, Claudio Uyeda, Helder Moraes Kaline Dantas, Leandro Andrade e Valfísio Silva.

Aos colegas de turma, Iedo Teodoro, Rosalve Lucas, Jorge Sousa, Roger Luiz, Ana Cristina, Joelma, Silvana, Fabio, Josinaldo e Jose Carlos.

Aos amigos Gilberto Neto, Janivan, Madson, Sebastião, Eloy, Eric, Ricardo Veras, Renê, Leda, Verônica, Hamilton, Jose Carlos, Falcão, Kaline, Jeronimo, Diego, Alberto, Rafael, Nildo, Aécio, Fernando, Diva, Betania, Cida, Amilton, Doroteu, Vinicius e Henrique Lessa, pela amizade e harmoniosa convivência durante a minha Pós-Graduação.

Enfim a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para o sucesso deste trabalho.



## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>1</b>
I.1. INTRODUÇÃO.....	1
I.2. OBJETIVOS.....	4
I.2.1. Objetivo Geral.....	4
I.2.2. Objetivos Específicos.....	4
<b>CAPÍTULO II – REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
II.1 Aspectos gerais do pinhão-manso.....	5
II.1.1 Aspectos nutricionais do pinhão-manso.....	6
II.2 Uso da água residuária em atividades agrícolas.....	7
II.3 Uso de águas salinas na irrigação.....	11
II.4 Adubação fosfatada.....	14
II.5 Aspectos gerais sobre a fisiologia de plantas submetidas ao estresse hídrico....	15
<b>CAPÍTULO III – MATERIAL E MÉTODOS GERAL.....</b>	<b>20</b>
III.1 Histórico da pesquisa.....	20
III.2 Início das atividades referente a pesquisa atual.....	22
<b>CAPÍTULO IV – TRABALHOS REALIZADOS.....</b>	<b>26</b>
IV. 1 BIOMETRIA E DESENVOLVIMENTO DE PINHÃO-MANSO IRRIGADO COM DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA RESIDUÁRIA E ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	26
RESUMO.....	26
ABSTRACT.....	27
IV.1.1 Introdução.....	28
IV.1.2 Material e Métodos.....	30
IV.1.3 Resultados e Discussão.....	32
IV.1.4 Conclusões.....	42

IV.2 CRESCIMENTO E CONSUMO HÍDRICO DE PINHÃO-MANSO SOB ESTRESSE SALINO E DOSES DE FÓSFORO.....	43
RESUMO.....	43
ABSTRACT.....	44
IV.2.1 Introdução.....	45
IV.2.2 Material e Métodos.....	47
IV.2.3 Resultados e Discussão.....	49
IV.2.4 Conclusões.....	58
IV.3 TROCAS GASOSAS E TEOR DE NUTRIENTES EM FOLHAS DE PINHÃO-MANSO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA E DOSES DE FÓSFORO.....	59
RESUMO.....	59
ABSTRACT.....	60
IV.3.1 Introdução.....	61
IV.3.2 Material e Métodos.....	63
IV.3.3 Resultados e Discussão.....	65
IV.3.4 Conclusões.....	74
IV.4 TEORES DE NUTRIENTES FOLIARES E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS EM PINHÃO-MANSO SUBMETIDO A ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	75
RESUMO.....	75
ABSTRACT.....	76
IV.4.1 Introdução.....	77
IV.4.2 Material e Métodos.....	79
IV.4.3 Resultados e Discussão.....	81
IV.4.4 Conclusões.....	92
IV.5 COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE PINHÃO-MANSO SOB DIFERENTES LÂMINAS COM EFLUENTES DOMESTICO E ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	93
RESUMO.....	93
ABSTRACT.....	94
IV.5.1 Introdução.....	95



IV.5.2 Material e Métodos.....	97
IV.5.3 Resultados e Discussão.....	99
IV.5.4 Conclusões.....	104
<b>IV.6 COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE PINHÃO-MANSO IRRIGADO COM ÁGUA COM DIFERENTES CONDUTIVIDADES ELÉTRICA E DOSES DE FÓSFORO.....</b>	<b>105</b>
RESUMO.....	105
ABSTRACT.....	106
IV.6.1 Introdução.....	107
IV.6.2 Material e Métodos.....	109
IV.6.3 Resultados e Discussão.....	111
IV.6.4 Conclusões.....	116
<b>IV.7 RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE PLANTAS DE PINHÃO-MANSO IRRIGADAS COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS E SALINAS.....</b>	<b>117</b>
RESUMO.....	117
ABSTRACT.....	118
IV.7.1 Introdução.....	119
IV.7.2 Material e Métodos.....	121
IV.7.3 Resultados e Discussão.....	124
IV.7.4 Conclusões.....	132
<b>IV.8 IMPACTO DO USO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS SOBRE O SOLO CULTIVADO COM PINHÃO- MANSO.....</b>	<b>131</b>
RESUMO.....	131
ABSTRACT.....	132
IV.8.1 Introdução.....	133
IV.8.2 Material e Métodos.....	135
IV.8.3 Resultados e Discussão.....	138
IV.8.4 Conclusões.....	140
<b>CAPÍTULO V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>141</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Densidade de raízes de pinhão-manso cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária	25
Figura 2	Altura de plantas de pinhão-manso cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária, fertilizados com fósforo e avaliadas aos 30, 60 e 90 dias após a poda	33
Figura 3	Efeito de doses de fósforo em diferentes lâminas de reposição hídrica sobre altura de planta de pinhão-manso aos 30 dias após a poda	34
Figura 4	Número de folhas em plantas de pinhão-manso cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária, fertilizados com fósforo e avaliados aos 30, 60 e 90 dias após a poda	35
Figura 5	Número de folhas em plantas de pinhão-manso cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária, fertilizados com fósforo e avaliados aos 30, 60 e 90 dias após a poda	36
Figura 6	Área foliar em plantas de pinhão-manso cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária, fertilizados com fósforo e avaliadas aos 30, 60 e 90 dias após a poda	37
Figura 7	Efeito de doses de fósforo em diferentes lâminas de reposição hídrica sobre a área foliar de plantas de pinhão-manso aos 30, 60 e 90 dias após a poda	38
Figura 8	Peso do fruto de pinhão-manso em função da reposição do consumo hídrico de pinhão-manso irrigados com água residuária	39
Figura 9	Eficiência do uso da água em função do consumo hídrico de pinhão-manso irrigados com água residuária	40
Figura 10	Altura de planta de pinhão-manso sob condições de estresse salino aos 30, 60 e 90 dias após a poda	49
Figura 11	Diâmetro caulinar de plantas de pinhão-manso sob condições de estresse salino aos 30, 60 e 90 dias após a poda	50
Figura 12	Número de folhas em plantas de pinhão-manso sob condições de estresse salino aos 30, 60 e 90 dias após a poda	52
Figura 13	Área foliar em plantas de pinhão-manso sob condições de estresse salino aos 30, 60, 90 dias após a poda	52
Figura 14	Efeito de doses de fósforo em função dos diferentes níveis de salinidade da água de irrigação na área foliar média de plantas de pinhão-manso no	54

	terceiro ano aos 30, 60 e 90 dias após a poda	
Figura 15	Matéria seca média de folhas das plantas de pinhão-manso sob condições de estresse salino ao final do ciclo	55
Figura 16	Consumo médio de água de plantas de pinhão-manso sob condições de estresse salino durante 180 dias após a poda	56
Figura 17	Taxa de fotossíntese líquida em função da lâmina de reposição hídrica em plantas de pinhão-manso durante a fase de floração	66
Figura 18	Teores de fósforo em folhas do pinhão-manso em função do nível de reposição hídrica	67
Figura 19	Teor foliar de cálcio em pinhão-manso cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração	68
Figura 20	Teor foliar de magnésio em pinhão-manso cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração	69
Figura 21	Teor foliar de zinco, em pinhão-manso cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração	70
Figura 22	Teor foliar de cobre em pinhão-manso cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração	71
Figura 23	Teor foliar de manganês em pinhão-manso cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração	71
Figura 24	Teor foliar de cloro em pinhão-manso cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração	72
Figura 25	Teor foliar de sódio em pinhão-manso cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração	72
Figura 26	Condutância estomática em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante a fase de floração	81
Figura 27	Taxa de transpiração em função da lâmina da condutividade elétrica da	82



	água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante a fase de floração	
Figura 28	Taxa de fotossíntese em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante a fase de floração	82
Figura 29	Temperatura foliar em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante a fase de floração	83
Figura 30	Teor foliar de nitrogênio em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção	84
Figura 31	Teor foliar de Fósforo em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção	84
Figura 32	Teor foliar de Potássio em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção	85
Figura 33	Teor foliar de Cálcio em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção	85
Figura 34	Teor de cálcio em plantas de pinhão-manso submetido à irrigação com água salina e doses de fósforo durante a fase de floração do terceiro ano de produção	87
Figura 35	Teor foliar de Ferro em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção	88
Figura 36	Teor foliar de Manganês em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção	88
Figura 37	Teor foliar de Zinco em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção	89
Figura 38	Teor foliar de Cobre em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção	89
Figura 39	Teor foliar de cloro em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção	90
Figura 40	Teor foliar de sódio em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção	90
Figura 41	Dias para inflorescências iniciais em plantas de pinhão-manso sob condições de reposição hídrica com água residuária	99
Figura 42	Número médio de cachos em plantas de pinhão-manso sob condições de reposição hídrica com água residuária	100
Figura 43	Teor de óleo de sementes de pinhão-manso em função da reposição hídrica com água residuária	101

Figura 44	Peso de 100 sementes de pinhão-manso em função da reposição hídrica com água residuária	102
Figura 45	Eficiência do uso da água em sementes de pinhão-manso em razão da reposição hídrica com água residuária	103
Figura 46	Dias para emissão da inflorescência de pinhão-manso irrigados com água de diferentes condutividades elétrica	111
Figura 47	Número de cachos de pinhão-manso irrigados com água de diferentes condutividades elétrica	112
Figura 48	Número de sementes de pinhão-manso irrigados com água de diferentes condutividades elétrica	112
Figura 49	Peso de 100 sementes de pinhão-manso irrigados com água de diferentes condutividades elétrica	113
Figura 50	Teor de óleo de sementes de pinhão-manso irrigados com água de diferentes condutividades elétrica	114
Figura 51	Dias para emissão da inflorescência de pinhão-manso sob doses de fósforo	114
Figura 52	Área foliar e massa seca das folhas de plantas de pinhão-manso com quatro meses após a poda	124
Figura 53	Taxa de fotossíntese e eficiência instantânea do uso de água em plantas de pinhão-manso com quatro meses após a poda	125
Figura 54	Açúcares solúveis totais, açúcares redutores, sacarose e amido em folhas de plantas de pinhão-manso com quatro meses após a poda	126
Figura 55	Aminoácidos, nitrato, nitrogênio total e amônio em folhas de plantas adultas de pinhão-manso com quatro meses após a poda	127
Figura 56	Prolina e glicina betaína em folhas de plantas de pinhão-manso com quatro meses após a poda	128
Figura 57	Sódio e potássio em folhas de plantas de pinhão-manso com quatro meses após a poda	129
Figura 58	pH do solo cultivado com pinhão-manso irrigado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o quarto ano de produção.	138
Figura 59	Teor de potássio em solo cultivado com pinhão-manso irrigado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o quarto ano de produção	139

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características dos efluentes tratados de Campina Grande-PB	10
Tabela 2	Características químicas do solo antes e após de calagem e adubação no início do experimento em 2007	20
Tabela 3	Características físico-hídricas do substrato utilizado nos experimentos no início do experimento em 2007	22
Tabela 4	Resumo da análise de variância para densidade de raízes de pinhão-mansão cultivadas com água residuária no início do terceiro ano de produção	25
Tabela 5	Resumo da análise de variância para densidade de raízes de pinhão-mansão cultivadas com água salina no início do terceiro ano de produção	25
Tabela 6	Resumo da análise de variância para altura de planta e diâmetro caulinar avaliados aos 30, 60 e 90 dias após poda em plantas de pinhão-mansão cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária e fertilizados com fósforo	32
Tabela 7	Resumo da análise de variância para número de folhas e área foliar avaliados aos 30, 60 e 90 dias após poda em plantas de pinhão-mansão cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária e fertilizados com fósforo	35
Tabela 8	Resumo da análise de variância para peso do fruto e eficiência do uso da água no pinhão-mansão cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária e fertilizados com fósforo	39
Tabela 9	Resumo da análise de variância para altura de planta e diâmetro de caule aos 30, 60 e 90 dias após poda de pinhão-mansão sob condições de estresse salino e doses de fósforo	49
Tabela 10	Resumo da análise de variância para número de folhas e área foliar aos 30, 60 e 90 dias após poda de pinhão-mansão sob condições de estresse salino e doses de fósforo	51
Tabela 11	Resumo da análise de variância para matéria seca das folhas e consumo de água de pinhão-mansão sob condições de estresse salino e doses de fósforo aos 180 dias após poda	55
Tabela 12	Resumo da análise de variância para condutância estomática, taxa de transpiração, taxa de fotossíntese e temperatura foliar em pinhão-mansão cultivado com água residuária em diferentes reposições hídricas durante o	65



	terceiro ciclo de produção no período da floração	
Tabela 13	Resumo da análise de variância para os teores nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em folhas de pinhão-manso cultivadas com água residuária em diferentes reposições hídricas durante o terceiro ciclo de produção	67
Tabela 14	Resumo da análise de variância para os teores ferro, zinco, cobre, manganês, cloro, e sódio em folhas de pinhão-manso cultivadas com água residuária em diferentes reposições hídricas durante o terceiro ciclo de produção	70
Tabela 15	Resumo da análise de variância para condutância estomática, taxa de transpiração, taxa de fotossíntese e temperatura de folha em folhas de pinhão-manso cultivadas com água salina durante o terceiro ano de produção no período da floração	81
Tabela 16	Resumo da análise de variância para teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre de pinhão-manso cultivado com água salina e adubação fosfatada durante o terceiro ano de produção	83
Tabela 17	Resumo da análise de variância para teores foliares de ferro, zinco, cobre, manganês, cloro, e sódio de pinhão-manso cultivado com água salina e adubação fosfatada durante o terceiro ano de produção	87
Tabela 18	Resumo da análise de variância para emissão da inflorescência, números de cachos, número de frutos, peso de 100 sementes e teor de óleo em sementes avaliado em plantas de pinhão-manso cultivados em condições da reposição hídrica do consumo de água de reúso e fertilizados com fósforo	99
Tabela 19	Resumo da análise de variância para emissão de inflorescência, número de cachos, número de sementes, peso de 100 sementes e teor de óleo em sementes de pinhão-manso cultivado com água salina durante o terceiro ano de produção	111
Tabela 20	Composição química do efluente tratado utilizado na irrigação do pinhão-manso durante o quarto ano de produção	136
Tabela 21	Resumo da análise de variância para pH, condutividade elétrica, teores de cloro e carbonato em solo cultivado com pinhão-manso e irrigado com água residuária em diferentes reposições hídricas e doses de fósforo.	138
Tabela 22	Resumo da análise de variância para os teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio em solo cultivado com pinhão-manso e irrigado com água residuária em diferentes reposições hídricas e doses de fósforo	139

## RESUMO

Orientador: **Prof. Dr. Hans Raj Gheyi**

Orientador: **Prof. Dr. Frederico Antônio L. Soares**

Objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar a viabilidade do uso de águas de qualidade inferior na cultura do pinhão-mansão cujo ponto de partida foi a análise de dois experimentos, sendo um irrigado com água residuária e outro com água salina, nos 3º e 4º ano de cultivo. As lâminas de reposição hídrica do consumo influenciam as variáveis de crescimento do pinhão-mansão a partir dos 30 dias após a poda. As variáveis altura de planta e área foliar são afetadas pela interação dos fatores (RH x DP) aos 30 e 30, 60 e 90 dias após a poda, respectivamente. O peso de frutos e a eficiência do uso da água são influenciados pelas lâminas de reposição hídrica do consumo do pinhão-mansão as quais, não são afetadas pelas doses de fósforo. O diâmetro de caule, número de folhas e consumo de água, são afetados linear e negativamente pela salinidade da água de irrigação. A área foliar é a única variável de crescimento influenciada pela doses de fósforo nas três avaliações e o número de folhas foi influenciado somente aos 30 DAP. A salinidade da água de irrigação a partir de  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$  interfere negativamente no acúmulo de matéria seca das folhas de pinhão-mansão. O consumo médio de água do pinhão-mansão diminuiu 22,5% por aumento unitário da salinidade da água de irrigação durante 180 dias. O pinhão-mansão demonstra sensibilidade à salinidade da água de irrigação com condutividade elétrica superior a  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ . O incremento na reposição hídrica com água residuária proporcionou incremento nas trocas gasosas foliares, notadamente na taxa de assimilação de carbono. O teor dos elementos obedeceu à seguinte ordem decrescente nas folhas:  $\text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Na} > \text{S} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cl} > \text{Cu}$ . Com o aumento da reposição hídrica os teores foliares de P, Zn e Cu aumentaram enquanto no limbo foliar os teores de Cl, Mn e Na decresceram suas concentrações. As doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicadas não influenciaram nos teores de nenhum dos elementos estudados. A salinidade da água de irrigação prejudica as plantas de pinhão-mansão, provocando reduções na condutância estomática, perda nas taxas de transpiração e de fotossíntese, além de aumento na temperatura foliar. O teor foliar dos nutrientes e o elemento sódio obedeceram à seguinte ordem:  $\text{K} > \text{N} > \text{Cl} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$ . Com exceção do cobre todos os nutrientes e elementos avaliados aumentaram com o acréscimo da salinidade da água de irrigação. O teor máximo de N e K nas folhas do pinhão-mansão foi obtido com uma CEa de  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ . A menor dose de

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizada é suficiente para permitir o desenvolvimento da planta durante o período experimental. Os níveis de irrigação influenciaram os componentes de produção, como emissão de inflorescência, número de cachos, número de frutos e peso de 100 sementes. O teor de óleo foi influenciado significativamente pelo nível de reposição hídrica, ocorrendo um acréscimo de 11,51% no nível 1,25 de reposição hídrica. O acréscimo das doses de fósforo influenciou, entre as variáveis em estudo, apenas o número de cachos. O número de dias para emitir a inflorescência, número de cachos por planta, produtividade de grãos e o teor de óleo das sementes de pinhão-manso, foi afetado negativamente pelo aumento da salinidade da água de irrigação. A cultura do pinhão-manso irrigado com água de condutividade elétrica de 1,3 dS m<sup>-1</sup> atinge, em média, perda de 10% da massa e, conseqüentemente, do teor de óleo em suas sementes. Há correlação positiva entre o peso de 100 sementes e teor de óleo das sementes de pinhão-manso. Só o número de dias para emissão da inflorescência foi afetado pelas doses de fósforo. Plantas de pinhão-manso irrigadas com 100% da capacidade de campo com água residuária apresentam redução na produção de massa e área foliar, comparando-se com as plantas irrigadas com água de abastecimento. Esta espécie apresenta a capacidade de se ajustar osmoticamente a partir da síntese de glicina betaína; contudo, demonstra que o acúmulo de prolina no tecido não é efetivo para o ajustamento osmótico devido aos seus baixos teores acumulados no tecido. A aplicação de lâminas de reposição hídrica com efluente doméstico no solo ocasionou elevação no pH, conforme aumenta a disponibilidade hídrica. Porém, o efeito sobre o potássio foi inverso. Com relação às doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no perfil do solo, não se detectou efeito sobre os elementos em estudo.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L.; reúso; índices fenológicos; produtividade; adubação fosfatada; condutividade elétrica; energia-fontes alternativas; características fotossintéticas; nutrição vegetal; estresse hídrico; teor de óleo; balanço de carbono e nitrogênio; dinâmica de nutrientes



## ABSTRACT

Adviser: Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

Adviser: Prof. Dr. Frederico Antônio L. Soares

The cultivation of physic nut in recent years has received special attention, being considered an alternative energy source universally accepted. The objective of this work was to analyze the feasibility of using lower quality water for irrigation and phosphorus levels on yields of physic nut during the 3rd and 4th year of production. Growth variables were influenced by the blades of fluid consumption of the physic nut from 30 days after pruning. The number of leaves and stem diameter were influenced by phosphorus at 30 and 90 days after pruning, respectively. Variables, plant height and leaf area were affected by the interaction of 30 and 30, 60 and 90 days after pruning, respectively. The weight of the fruit and water use efficiency were influenced by the depth of fluid consumption of the physic nut, however, were not affected by phosphorus. The stem diameter, number of leaves and water consumption are linear and negatively affected by salinity of irrigation water. Leaf area was the only variable influenced by the growth rates of phosphorus in the three evaluations and the number of leaves was affected at 30 DAP. The salinity of irrigation water from 1.6 dS m<sup>-1</sup> negatively interferes with the accumulation of dry leaves of physic nut. The average water consumption of the physic nut decreased 22.5% per unit increase in salinity of irrigation water for 180 days. The physic nut demonstrates sensitivity to salinity of irrigation water with electrical conductivity higher than 1.6 dS m<sup>-1</sup>. The increase in hydration with wastewater resulted in an increase in leaf gas exchange, notably in the rate of carbon assimilation. The content of the elements in the following order of decreasing leaf: N > K > Mg > Ca > P > Na > S > Fe > Mn > Zn > Cl > Cu. With increasing hydration levels of P, Zn, and Cu increased while the levels of Cl, Mn and Na decreased their concentrations in the leaves. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> doses applied did not influence the content of any of the elements studied. The salinity of irrigation water led to reductions in stomatal conductance, leading to declines in rates of transpiration and photosynthesis, and increased leaf temperature. The nutrient content of the leaves in the following order: K > N > Ca > Mg > P > S and Cl > Na > Fe > Mn > Zn > Cu, for macro and micronutrients, respectively. Aside from covering all aspects evaluated increased with increasing salinity of irrigation water. The maximum N and K in leaves of physic nut was obtained with an EC<sub>w</sub> of 2.2 dS m<sup>-1</sup>. The irrigation levels influenced the yield components such

as issuance of inflorescence, number of bunches, fruit number and weight of 100 seeds. The oil content was significantly influenced by the level of fluid there was an increase of 11.51% at 1.25 level of fluid. The increase of phosphorus levels influence among the variables studied, only the number of clusters. The number of days to issue the inflorescence, number of clusters per plant, grain yield and oil content of seeds of physic nut were negatively affected by increasing salinity of irrigation water. Acculturate of physic nut irrigated with electrical conductivity of  $1.3 \text{ dS m}^{-1}$  reaches an average 10% loss of mass and therefore the oil content in seeds. Only the number of days to inflorescence emission was affected by phosphorus. There was a positive correlation between 100 seed weight and oil content of seeds of physic nut. Physic nut plants irrigated with 100% of field capacity with wastewater show a reduction in mass production and leaf area compared with plants irrigated with water supply. This species has the ability to adjust osmotic from the synthesis of glycine betaine. However, demonstrates that the accumulation of proline in the tissue is not effective for osmotic adjustment due to its low levels accumulated in the tissue. The application of layers of fluid replacement with domestic wastewater in the soil caused an increase in pH with increasing water availability, however, the effect on potassium was reversed. With respect to the  $\text{P}_2\text{O}_5$  levels in the soil profile, there was no effect on the elements in the study.



**Key-works:** *Jatropha curcas* L.; reuse; phenological indices. productivity; phosphate fertilizer; electrical conductivity; energy-alternative sources; photosynthetic characteristics; plant nutrition; water stress; oil content; carbon and nitrogen balance; nutrient dynamics

## **CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **I.1. INTRODUÇÃO**

A água é um recurso cada vez mais escasso, seja pelo crescimento populacional, com aumento da demanda ou pelo comprometimento do uso, especialmente pela poluição dos mananciais, além do fato de que a água é um recurso finito (ANDRADE, 2008). Estima-se que dentro de 20 anos uma proporção de dois terços da população do mundo deve enfrentar problemas de escassez de água, testemunhando-se cada vez mais a utilização de águas caracterizadas como de qualidade inferior, tais como efluentes de processos industriais e de esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras, razão por que, devem, sempre que possível, ser consideradas fontes alternativas (BREGA FILHO & MANCUSO, 2003; HESPANHOL, 2003; SILVA, 2009).

O uso de efluentes em irrigação é uma prática antiga em países como Austrália, Arábia Saudita, Israel, Tunísia, Egito, Estados Unidos, México, Chile e Peru (HUSSAR et al., 2005). No Brasil o reúso de águas servidas é pequeno, mas se registram vários exemplos de utilização de águas de esgotos sanitários em irrigação, em geral de forma espontânea e não controlada, sobretudo em periferias das grandes cidades onde são cultivadas, geralmente, olerícolas, além de forrageiras para alimentação animal. (MEDEIROS et al., 2007; RODRIGUES et al., 2009).

A utilização de águas residuárias tratadas na agricultura é importante não apenas por servir como fonte extra de água, mas também de nutrientes para as culturas (SANDRI et al., 2007). Quando as águas residuárias são aplicadas de forma adequada na superfície do solo, ocorrem processos de depuração de natureza física, química e biológica no sistema solo-planta-água (MATOS et al., 2005). Assim, as plantas desempenham papel fundamental, no aproveitamento dos nutrientes disponibilizados por essas águas, extraindo macro e micronutrientes, além da matéria orgânica necessária ao crescimento, evitando seu acúmulo e a conseqüente contaminação das águas superficiais e subterrâneas (RIBEIRO et al., 2009a).

O uso de águas salinas na irrigação para produção vegetal é um desafio que vem sendo superado com sucesso em diversas partes do mundo, graças à utilização de espécies tolerantes e à adoção de práticas adequadas de manejo da cultura, do solo e da água de irrigação (SILVA et al., 2003).

Em referência à utilização de água salina, deve-se garantir seu uso através de um manejo cuidadoso, pois o estresse salino inibe o crescimento das plantas em virtude da redução do potencial osmótico da solução do solo, restringindo a disponibilidade de água pelo acúmulo de íons nos tecidos vegetais, podendo ocasionar toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional ou simultaneamente (RHOADES et al., 2000); no entanto, o grau de severidade com que esses componentes influenciam o desenvolvimento das plantas é dependente de muitos fatores, como espécie vegetal, cultivar, estágio fenológico, composição salina do meio, intensidade, duração do estresse e das condições edafoclimáticas e, ainda do manejo da irrigação (GHEYI et al., 2005; SILVA et al., 2008; NEVES et al., 2009).

Entre as espécies vegetais existe grande variabilidade na capacidade de absorção de água em solos salinos, sendo que muitas halófitas (plantas nativas de ambientes salinos) são capazes de extrair maiores proporções de sais do solo do que a maioria das plantas cultivadas (LARCHER, 2004). De modo geral, a maioria das plantas cultivadas é considerada sensível ou moderadamente sensível ao excesso de sais porém é possível encontrar diferenças no grau de tolerância, as quais podem estar associadas à capacidade de extração de água e de sais do solo, quando cultivadas em meios salinos. Deste modo, a identificação de espécies que apresentem maior extração de sais do solo pode ser um fator importante, contribuindo para o manejo do sistema solo-planta em ambientes salinos (SOUSA, 2007).

Diante da preocupação atual com o efeito estufa, o aquecimento global e a escassez das reservas mundiais de combustível fóssil, o pinhão-manso tem despertado o interesse dos produtores, do governo e das instituições de pesquisa, despontando como fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel, o que possibilita a ampliação das áreas de cultivo no semiárido nordestino (ARRUDA et al., 2004). Entretanto, para se obter alta produtividade de frutos a planta exige solos férteis e com boas condições físicas. Logo, a correção da acidez e da fertilidade do solo é decisiva para se obter sucesso e lucratividade nessa cultura (LAVIOLA & DIAS, 2008).

Entre as principais técnicas aplicadas para aumentar a produtividade e a rentabilidade da cultura, o suprimento nutricional, se destaca especialmente para o fósforo (VALE et al., 2004). Pois ele é considerado essencial uma vez que satisfaz os dois critérios da essencialidade, diretamente por participar de compostos e reações vitais para as plantas e indireto porque, na sua ausência, a planta não completa seu ciclo de

vida, não podendo ser substituído por nenhum outro. Este elemento é absorvido predominantemente na forma iônica de  $H_2PO_4^-$ ; sua acumulação nas células corticais da raiz e seguida pela transferência dentro desta até o xilema através do simplasto, chegando às folhas ou as regiões de crescimento sendo, juntamente com o nitrogênio, o elemento mais prontamente redistribuído (MALAVOLTA et al., 1997).

Um dos fatores limitantes à produção do pinhão-mansó é a disponibilidade do fósforo, visto que influencia na formação das sementes, que é a parte da planta que mais interessa no fornecimento da matéria-prima (LAVIOLA & DIAS, 2008). Em pesquisas anteriores foram constatadas baixa produtividade e alta taxa de abortamento das flores do pinhão-mansó associadas a falta de disponibilidade de fósforo as plantas.

De acordo com Raij (1991), este elemento é essencial em diversos processos metabólicos e de transferência de energia, agindo diretamente no desenvolvimento radicular, germinação, maturação, florescimento, formação das sementes e diferentemente do que ocorre no solo, o fósforo apresenta alta mobilidade no interior da planta.



## **I.2. OBJETIVOS**

### **I.2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a viabilidade do uso de águas de qualidade inferior na cultura do pinhão-mansinho tendo, como ponto de partida, a análise de dois experimentos ou seja, um irrigado com água residuária e outro irrigado com água salina, nos 3º e 4º ano de cultivo.

### **I.2.2. Objetivos Específicos**

- Avaliar a viabilidade da aplicação de lâminas de irrigação com água residuária de origem doméstica e duas doses de fósforo sobre o crescimento, produção de frutos e eficiência do uso da água do pinhão-mansinho durante o terceiro ano de cultivo;
- Avaliar o crescimento, acúmulo de massa seca e consumo de água na cultura do pinhão-mansinho sob condições de estresse salino e duas doses de fósforo durante o terceiro ano de produção;
- Avaliar as trocas gasosas e quantificar os teores de nutrientes em folhas de pinhão-mansinho cultivadas com diferentes lâminas de reposição hídrica, utilizando-se efluentes de origem doméstica e duas doses de fósforo;
- Avaliar taxas de troca gasosas e o teor de macro e micronutrientes em folhas de pinhão-mansinho cultivados sob condições de estresse salino e duas doses de fósforo;
- Avaliar a influência da reposição hídrica com água residuária de esgoto doméstico e duas doses de fósforo sobre componentes de produção e teor de óleo das sementes de pinhão-mansinho;
- Avaliar os componentes de produção de pinhão-mansinho irrigados com água de diferentes condutividades elétricas e doses de fósforo;
- Avaliar e comparar os efeitos da irrigação com água salina e residuária sobre as respostas fisiológicas de plantas adultas de pinhão-mansinho envolvendo trocas gasosas e fotossíntese, perfil de carboidratos e de nitrogênio associados com o crescimento.
- Avaliar os prováveis impactos da aplicação do efluente doméstico após seu tratamento nos atributos químicos do solo, em área cultivada com pinhão-mansinho.

## CAPÍTULO II – REVISÃO DE LITERATURA

### II.1. ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO PINHÃO-MANSO

O gênero *Jatropha* possui 175 espécies distribuídas pela América Tropical, Ásia e África (AUGUSTUS et al., 2002). Acredita-se que a espécie *Jatropha curcas* L. proceda da América do Sul, originária possivelmente, do Brasil, tendo sido introduzida por navegadores portugueses, em fins do século XVIII, nas ilhas de Cabo Verde e em Guiné, de onde mais tarde foi disseminada pelo continente africano (ARRUDA et al., 2004). Embora seja uma planta conhecida e cultivada no continente americano desde a época pré-colombiana e esteja disseminada em todas as regiões tropicais e até em algumas temperadas, o pinhão-manso ainda se encontra em processo de domesticação (SATURNINO et al., 2005).

O pinhão-manso é uma oleaginosa pertencente à família das *Euforbiáceas*, também conhecido como pinhão do Paraguai, purgueira, pinha de purga, pinhão de cerca, pinhão bravo, pinhão branco, purgante de cavalo, physic nut (inglês), pourghère (França), pinoncillo (México), tempate (América Central), purguera (Portugal), entre outras definições (GUSMÃO, 2010). É um arbusto grande, de crescimento rápido, cuja altura normal é dois a três metros, com folhas verdes, esparsas e brilhantes, largas e alternas, em forma de palma e apresentam floração monóica na mesma planta mas com sexo separado (ARRUDA et al., 2004). Os frutos maduros apresentam o epicarpo com coloração externa marrom escuro e os frutos secos apresentam o epicarpo de coloração preta e em fase de deiscência, mesocarpo seco e sementes de coloração preta, com presença de estrias (NUNES et al., 2008).

O pinhão-manso é uma planta perene; as folhas são decíduas apresentando queda das folhas na estação seca, as quais ressurtem logo após as primeiras chuvas, é considerada uma espécie xerófita, com forte resistência à seca (ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al., 2005). Esta planta cresce bem com chuvas anuais acima de 600 mm, sendo, entretanto, tolerante ao longo período de estiagem porém com precipitações inferiores a 600 mm, ela paralisa seu crescimento. É uma planta de fácil propagação, podendo ser usada no controle de erosão (redução da erosão do vento ou hídrica) e sua torta é muito valiosa, utilizada principalmente como fertilizante orgânico, além da sua semente ser usada na produção de biodiesel (SANTOS, 2008).

Segundo Ferrari et al. (2009), plantas de pinhão-mansão produzem cerca de 1.340 a 3.200 kg ha<sup>-1</sup>, com potencial para atingir 8000 kg ha<sup>-1</sup> de sementes dependendo do teor de óleo na semente (30 a 50%) e da tecnologia de produção adotada como manejo de irrigação, entre outras. Quando plantado no início da estação chuvosa o pinhão-mansão inicia sua produção no primeiro ano de cultivo, embora atinja o clímax produtivo a partir do quarto ano. Tominaga et al. (2007) afirmam que o pinhão-mansão produz, em média, 0,1, 0,5, 2,0 e 4,0 kg planta<sup>-1</sup> de sementes nos primeiro, segundo, terceiro e quarto anos de cultivo, respectivamente, quando cultivado no espaçamento 3 x 2 m (densidade de 1.667 plantas ha<sup>-1</sup>) e que, dependendo do espaçamento mais adensado, a produtividade pode ultrapassar os 6.000 kg ha<sup>-1</sup> de sementes.

Drumond et al. (2010), obtiveram produtividades variando de 330 kg ha<sup>-1</sup>, em condições de sequeiro, a 1.200 kg ha<sup>-1</sup>, em área irrigada, já no primeiro ano de cultivo em Petrolina, PE. Santos (2008), afirma que o pinhão-mansão produz, no mínimo, duas toneladas de óleo por hectare ano<sup>-1</sup>, apresentando rendimento de 4 a 5 kg de frutos por planta e teor de óleo na semente de 35 a 40%. Em análises comparativas realizadas recentemente pela Embrapa, prever-se um rendimento médio da soja de 375 a 600 kg de óleo por hectare; da mamona, de 350 a 1.188 kg ha<sup>-1</sup>; do girassol, de 630 a 725 kg ha<sup>-1</sup> e com previsão futura que o pinhão-mansão possa produzir entre 1.340 a 3.200 kg ha<sup>-1</sup> de óleo (SANTOS, 2008).

Acredita-se que haja, no Brasil, mais de 30 mil hectares de área plantada com pinhão-mansão (MENDONÇA & LAVIOLA, 2009) e para validar esses dados além de coletar dados sobre produção, produtividade, rentabilidade e informações sobre indústrias que fazem a extração do óleo do pinhão-mansão no Brasil, a CONAB fez o levantamento nos Estados de MT, MG, GO, TO, MA, ES, SP, BA, PA, RJ e do DF (OLIVEIRA, 2010).

### **II.1.1. ASPECTOS NUTRICIONAIS DO PINHÃO-MANSO**

A produtividade vegetal é um processo extremamente complexo que envolve fatores do solo, clima, manejo da cultura e da genética da planta. Esses fatores interagem de maneira específica para cada ambiente local, determinando o nível de produção da cultura. A fertilidade do solo é um dos fatores mais importantes da produtividade, pois determina as condições para o suprimento dos nutrientes minerais, o desenvolvimento radicular e, também, o rendimento e a qualidade do produto colhido (EPSTEIN & BLOOM, 2006).



Todos os nutrientes minerais exercem funções de extrema importância dentro da planta; são partes integrais de compostos de carbono (N, S), essenciais para armazenamento e uso de energia no genoma (P), associados com a parede celular (Ca, B, Si), constituintes de enzimas ou outros compostos essenciais do metabolismo (Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo), ativadores ou que controlam a atividade de enzimas (K, Na, Cl, Mg, Ca, Mn, Fe, Zn, Cu), e servem como contra-íons para cargas positivas ou negativas (K, Na, NO<sub>3</sub>, Cl) (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

O pinhão-mansão extrai, pela colheita de frutos, elevada quantidade de nutrientes, razão pela qual se o solo não for adequadamente adubado poderá levar ao empobrecimento do solo ao longo dos anos de cultivo (LAVIOLA & DIAS, 2008). Considerando um espaçamento de 4 x 2 com 1.250 plantas ha<sup>-1</sup>, a extração de nutrientes pelos frutos no 4º ano de cultivo corresponderia a uma retirada de 146,2; 28,5 e 103,6 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K respectivamente. Apenas a estimativa da extração de nitrogênio pela colheita de frutos corresponde a 3,65 vezes a recomendação de nitrogênio para as culturas da mamona, mandioca e girassol (RIBEIRO et al., 2009b).

Como já discutido, alguns autores apontam o pinhão-mansão como uma espécie que apresenta baixas exigências nutricionais (ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al., 2005); no entanto, essas informações são equivocadas, pois, quando se trata de produtividade e não de produção, o pinhão-mansão produz apenas para a sobrevivência da espécie, mas, quando adubadas se tornam plantas extremamente produtivas aumentando, assim, a produção e a massa de frutos por planta (MORAIS, 2010).

O pinhão-mansão apresenta a seguinte ordem de acúmulo de nutrientes foliares: N > Ca > K > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu e nos frutos, a ordem encontrada foi: N > K > Ca > P ≥ Mg > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu. A relação N/K encontrada foi de 2,3:1 em folhas e de 1,4:1 em frutos, indicando que na fase em que a planta entra em produção aumenta a necessidade de K. Apesar de o P ser o quarto e o quinto nutriente mais requerido (em frutos e folhas, respectivamente) pela cultura, este elemento deve ser fornecido em maior quantidade do que o acumulado devido à facilidade de sua adsorção no solo (LAVIOLA & DIAS, 2008).

## II.2. USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA EM ATIVIDADES AGRÍCOLAS

A região Nordeste abrange uma área de 1.600.000 km<sup>2</sup>, dos quais 1.500.000 km<sup>2</sup> apresentam insuficiência hídrica durante a maior parte do ano, caracterizando o “polígono

das secas” (PESSOA, 2009). Nesta região a irrigação assume destaque no desenvolvimento da agricultura e com base no Programa Nacional de Irrigação (PRONI), há no Nordeste quase 6.000.000 ha de solos potencialmente irrigáveis (DANTAS et al., 2002).

A agricultura consome em torno de 70% da água de boa qualidade no Brasil; é provável que até o final desta década o referido índice chegue próximo aos 80%. Por outro lado, nas cidades a demanda de água é crescente e vem sendo sistematicamente reprimida pela redução da disponibilidade e degradação dos mananciais de abastecimento (HESPANHOL, 2003). Neste sentido, Guo & Sims (2001) e Cararo (2004) contribuiram afirmando que efluentes de atividades diárias de fazendas, indústrias processadoras de alimentos e estações de tratamento de esgotos domésticos contêm elevadas quantidades de nutrientes, tais como nitrogênio e fósforo. Assim, a irrigação com efluentes pode substituir parte dos fertilizantes comerciais utilizados no crescimento das culturas e minimizar os custos com a obtenção de insumos (CAOVILLA et al., 2005).

Em geral, as águas residuárias compreendem resíduos líquidos gerados por residências, indústrias, atividades comerciais, em consequência de uso diário, produção, e atividades de consumo (ANDRADE, 2008). O descarte de águas de esgoto é um problema, sobremaneira para os órgãos públicos, como prefeituras, em particular no caso de grandes áreas metropolitanas, com o espaço limitado para tratamento (HUSSAIN et al., 2002).

Tanto em países desenvolvidos como em países em vias de desenvolvimento, a prática que prevalece é a aplicação de águas residuárias de esgotos, tanto tratadas quanto não tratadas, na agricultura. Em países desenvolvidos nos quais os padrões ambientais são aplicados, a maior parte das águas residuárias é tratada antes do seu uso na irrigação em plantações de culturas forrageiras, plantas fibrosas e de produção de sementes e, há uma extensão limitada para a irrigação de pomares, vinhedos e outras culturas (HUSSAIN et al., 2002). Outros usos importantes de águas de esgoto incluem a descarga em fluxos de água corrente, paisagismo, indústrias, construção, controle de poeira, melhoria de habitat de vida selvagem e piscicultura (ANDRADE, 2008).

Já nos países em vias de desenvolvimento e embora os padrões sejam estabelecidos os mesmos não são sempre estritamente cumpridos. Em sua forma não tratada, as águas de esgoto, são largamente usadas para a agricultura e piscicultura e têm sido praticadas já por séculos, em países como a China, Índia e México (HUSSAIN et al., 2002).

Entretanto, quando o uso dessas águas ocorre sem planejamento e sem o devido conhecimento técnico e científico ambiental, pode afetar a qualidade dos recursos



hídricos, e por consequência, a qualidade de vida da população (BREGA FILHO & MANCUSO, 2003). Entende-se por reúso de água o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos (BREGA FILHO & MANCUSO, 2003).

Segundo Felizatto (2001), os primeiros registros sobre o reúso de água na agricultura como fonte hídrica e nutricional, estão associados às construções dos sistemas de esgotamento dos palácios e das cidades antigas da Civilização Minóica, na Ilha de Creta, na Grécia Antiga, de 3000 a 1200 a.C.

Embora no Brasil não se tenha uma legislação específica que regule a prática do reúso de água, várias pesquisas são desenvolvidas. Rodrigues (2005) estudando esta temática, verificou que alguns países como Estados Unidos, Tunísia, África do Sul, França, Itália, Espanha e México, têm apresentado progressos significantes pela definição de regras, regulamentos e investimentos em projetos estratégicos.

O reúso de água tem, além do seu aspecto econômico, relevante impacto na proteção do ambiente em virtude da redução da exploração de fontes naturais, em particular da lenta recarga do lençol freático (LOPEZA et al., 2006). Papaiacovou, (2001) afirmou que o reúso de água tem como principal vantagem, a proteção do meio ambiente que enquanto melhora oferece ao mesmo tempo, uma alternativa para o recurso água, com um custo marginal muito menor do que a dessalinização da água. É sob este raciocínio que Madwal & Tarazi, (2002) enfatizaram que a água residuária é um recurso facilmente disponível e valioso, que deveria ser considerado como parte integral do recurso água, juntamente com as outras fontes.

Ao final do século XIX, muitas cidades da Europa e Estados Unidos estabeleceram sistemas de coleta de esgotos. Era prática corrente de este período conduzir tais rejeitos até “fazendas de esgotos”, onde eram dispostos no solo. Eventualmente, eram também utilizados para irrigar plantações. O reúso de esgotos em irrigação passou a ser uma técnica de aplicação disseminada em várias regiões do mundo (BENETT, 1994).

No Brasil não existe registro oficial de projetos de reúso de esgotos na irrigação, embora ele ocorra de maneira não controlada. Bastos (2003) apresentou exemplos de utilização de efluentes na irrigação de milho, melancia, abóbora e capim para alimentação animal.

Dentre as várias iniciativas de pesquisa sobre o aproveitamento de esgotos sanitários na agricultura desenvolvidas no Brasil destaca-se a do Programa de Pesquisa

em Saneamento Básico (PROSAB) que, em seu terceiro edital deu ênfase a este assunto. O título do tema de pesquisa relacionado ao aproveitamento de esgotos sanitários foi “Desinfecção de efluentes sanitários, aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia” do qual participaram instituições do Espírito Santo, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (MIERZWA, 2004).

Dados relativos às características físicas, químicas e biológicas após o tratamento no sistema da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba realizado pelo PROSAB em 2004.

**Tabela 1.** Características dos esgotos tratados de Campina Grande, PB

Parâmetro	Esgoto na saída do sistema de lagoas
	pH
Turbidez (NTU)	36,5
Amônia (mg L <sup>-1</sup> )	19,93
Bicarbonatos (mg L <sup>-1</sup> )	384,57
Cloretos (mg L <sup>-1</sup> )	181,27
Cálcio (mg L <sup>-1</sup> )	10,37
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	1,42
Demanda Bioquímica de oxigênio - DBO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	15,32
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	1,60
Magnésio (mg L <sup>-1</sup> )	51,27
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	0,55
Sódio (mg L <sup>-1</sup> )	149,58
Sólidos Totais Fixos - STF (mg L <sup>-1</sup> )	557,13
Sólidos em Suspensão - SS (mg L <sup>-1</sup> )	58,12
Sólidos Suspensos Fixos - SSF (mg L <sup>-1</sup> )	10,67
Sólidos Dissolvidos Totais - SDT (mg L <sup>-1</sup> )	546,47
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	934
Coliformes totais (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	1,38 x 10 <sup>4</sup>
Helmintos (ovos L <sup>-1</sup> )	0



### II.3 USO DE ÁGUAS SALINAS NA IRRIGAÇÃO

A água é essencial aos seres vivos e fator de fundamental importância à produção de alimentos. A prática da irrigação é em muitas situações, a única maneira de garantir uma produção agrícola com segurança, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como é caso do semiárido brasileiro, onde há deficiência hídrica às plantas, devido à taxa de evapotranspiração ser maior que a de precipitação, durante maior parte do ano. Nessas áreas, sem um manejo adequado da irrigação, a salinização do solo é inevitável (HOLANDA & AMORIM, 1997).

Muito embora a irrigação venha sendo praticada há milênios, a importância da qualidade da água só começou a ser reconhecida a partir do início deste século (CORREIA, 2005). Segundo Ayers & Westcot (1999), a desatenção a este aspecto se deveu à abundância de fontes de água que, no geral, eram de boa qualidade e de fácil utilização; esta situação, porém, está mudando em muitos lugares, pois em decorrência do aumento do consumo, tem-se que recorrer ao uso de águas de qualidade inferior, tornando-se imprescindíveis cuidados qualitativos em sua avaliação.

A qualidade da água de irrigação é determinada pela composição e concentração de substâncias ou solutos dissolvidos, destacando-se como principais: os cátions cálcio, magnésio e sódio e os ânions, bicarbonato, sulfato e cloreto, enquanto boro, flúor e nitrato estão presentes usualmente, em pequenas concentrações. Pequenas quantidades de carbonato e de outros constituintes menos importantes são encontradas em muitas águas. As concentrações de diversos íons mostram grandes variações, como a baixa solubilidade de carbonatos de cálcio e magnésio, de sulfatos de cálcio, sódio e cloretos, que frequentemente predominam nas águas mais salinas (WILCOX & DURUM, 1967).

De acordo com Theiveyanathana et al. (2004), um sexto das terras agricultáveis no mundo é irrigado e delas provém um terço da produção de alimentos global, porém um terço das terras irrigadas no mundo, e aproximadamente a metade delas localizadas no semiárido e regiões áridas, são afetadas pela salinidade.

Ayers & Westcot, (1999) mostraram preocupação geral acerca do uso de água de irrigação com níveis de salinidade maiores que  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  em condutividade elétrica (CE). Entretanto, Theiveyanathana et al. (2004), relatam que a água com condutividade elétrica de até  $11 \text{ dS m}^{-1}$  está sendo substancialmente usada para irrigação nos Estados Unidos (CE de  $3 - 11 \text{ dS m}^{-1}$ ); Israel (CE de  $2 - 8 \text{ dS m}^{-1}$ ); Tunísia (CE de  $3 - 9 \text{ dS m}^{-1}$ ); Índia (CE de  $2 - 8 \text{ dS m}^{-1}$ ) e Egito (CE de  $2 - 5 \text{ dS m}^{-1}$ ).

Segundo Ayers & Westcot, (1999) a elevada concentração de sais no solo e água ocasiona modificações morfológicas, estruturais e metabólicas e inibem o crescimento e o desenvolvimento da planta, como na qualidade da produção dependendo de vários fatores, tais são: natureza e qualidade de sais solúveis, espécies, cultivar e sua tolerância à salinidade, estágio de desenvolvimento fenológico, condições atmosféricas em função dos seus efeitos na taxa de evapotranspiração, além do manejo de irrigação. Lima (1997) acrescenta que além da dificuldade de absorção de água salina pela planta, os efeitos dos sais nos processos fisiológicos ou mesmo por toxidez são similares aos aquelas de adubações excessivas.

Em termos generalizados, os efeitos imediatos da salinidade sobre os vegetais são: seca fisiológica, proveniente da diminuição do potencial osmótico; efeito tóxico de íons, sobretudo cloro e sódio e desbalanceamento nutricional, provocado pela elevada concentração iônica, especialmente de íons de sódio, inibindo a absorção de outros íons (TAYER, 1987).

Os sais em excesso no solo, na água de irrigação ou na solução nutritiva, prejudicam o comportamento germinativo, vegetativo e produtivo das plantas, pela ação dos efeitos diretos sobre o potencial osmótico e dos íons potencialmente tóxicos na solução do solo (LEITE, 2005).

Elevadas concentrações de sais no solo prejudicam o crescimento e desenvolvimento das plantas, resultando também em desequilíbrio nutricional e acúmulo excessivo de sódio e outros íons nos diferentes órgãos das plantas, sobretudo na parte aérea. Este desbalanço nutricional provocado pelo excesso de sais (Na e Cl) na solução do solo, leva a um distúrbio na absorção de nutrientes, alterando as concentrações dos nutrientes N, P, Ca, K, Mg e Na na planta (HOLANDA & AMORIM, 1997). Deferido desequilíbrio nutricional se reflete na alteração de funcionamento dos processos metabólicos vegetais (LEITE, 2005).

Quanto à salinidade as plantas se classificam em glicófitas (a maioria das plantas cultivadas, sendo as menos tolerantes à ação dos sais) e halófitas, que adquirem condições fisiológicas e se ajustam osmoticamente e sobrevivem sob estresse salino (RICHARDS, 1954).

O método de se avaliar os efeitos da salinidade sobre as plantas é a partir da produção relativa, definida pelo coeficiente entre a produção obtida nos diferentes níveis



de sais em relação ao tratamento controle, isto é, a produção obtida no meio não salino que representa os 100% da produtividade alcançada (MAAS & HOFFMAN, 1977).

O processo de lixiviação ou lavagem de sais é uma operação fundamental no controle dos problemas relacionados com a salinidade. Obviamente, tal manejo é dependente sobretudo da qualidade da água e da tolerância das culturas à salinidade (AYERS & WESTCOT, 1999).

Do total da área explorada com irrigação no Brasil o percentual de áreas atingidas pela salinidade varia de 3,0 a 29,4% da superfície agrícola útil e, referente ao nordeste, equivale à percentagem média de 7,8%, isto é, da ordem de 2.000 ha (DNOCS, 1991 *apud* GOMES et al., 2000). As áreas com problemas de sais se localizam mais frequentemente nos perímetros irrigados, em que mais de 25% apresentam declínio de rendimento provocado por sais (GOES, 1978 *apud* GOMES et al., 2000). Especificamente no Projeto de Irrigação de São Gonçalo, no estado da Paraíba, 24% de sua área se encontra afetados sem considerar as áreas que foram abandonadas por conta de excessos de sais e/ou sódio trocável (GOMES et al., 2000).

É imprescindível que se conheça a tolerância de diferentes espécies e cultivares a salinidade, para optar pelo cultivo daquelas que propiciarão as maiores produções com menor consumo de água para lixiviação, como medida a viabilizar a utilização de água de salinidade moderada para irrigação, sobretudo, em condições de semiárido, em que grande parte da água disponível à irrigação contém teores relativamente altos de sais solúveis (SILVA, 2004).

Em relação à cultura do pinhão-mansão, são poucos ainda os dados na literatura com referência à resposta desta cultura à salinidade, mas segundo Oliveira et al. (2010a) a altura da planta foi consideravelmente reduzida quando irrigado com água de 1,5 dS m<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes obtiveram Vale et al. (2006) e Nery et al. (2009) nas variáveis de crescimento. Silva et al. (2008) observaram estudando o desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamona sob estresse salino decréscimo significativo no peso das amostras de 10 sementes.

Os resultados referentes à tolerância de plantas a elevados níveis de salinidade devem ser analisados e interpretados adequadamente antes de serem aplicados na prática. Os critérios de avaliação podem envolver mecanismos morfológicos (folhas mortas, redução em peso de matéria seca da parte aérea ou grãos) e mecanismos fisiológicos (FAGERIA & GHEYI, 1997).

## II.4 ADUBAÇÃO FOSFATADA

O fósforo é um elemento essencial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. É também componente estrutural dos ácidos nucleicos de cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolípidos (GRANT et al., 2001). As plantas requerem um suprimento constante de fosfato durante toda a sua vida. No início do desenvolvimento as quantidades exigidas são pequenas, aumentando com o tempo. Na época da frutificação as necessidades são atendidas, em parte, pelas mobilizações das reservas. As plantas absorvem o P da solução do solo nas formas de íons  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Este elemento menos exigido pelas plantas, em relação aos macronutrientes, contudo é o mais utilizado, devido à sua forte deficiência no solo, além de ser adsorvido pelos colóides. Diferentemente do que ocorre no solo, o fósforo apresenta alta mobilidade no interior da planta (RAIJ, 1991).

Segundo Laviola & Dias, (2008) a composição química tanto quanto o acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de plantas de pinhão-manso é informação imprescindível para conhecer as exigências nutricionais da cultura. Posteriormente, essas informações podem servir como subsídio para estimar a quantidade dos nutrientes a ser fornecida às plantas por meio da adubação. O pinhão-manso é uma planta que responde a doses de potássio e fósforo, promovendo um crescimento inicial rápido (SANTOS et al., 2007).

Apesar de seu desenvolvimento muito reduzido, as plantas podem apresentar sintomas visuais típicos de deficiência de P, quando há uma baixa disponibilidade de P no solo (RAMOS, 2006). De modo geral os sintomas visuais de deficiência são: plantas pouco desenvolvidas, abortamento das flores, maturação tardia dos frutos e folhas de cor verde escura e muitas, verde arroxeadas (SOUZA 1999). O sintoma de arroxamento nos bordos e na parte abaxial das folhas velhas de pinhão-manso é decorrente do acúmulo de antocianina, comum também em outras espécies com deficiência de fósforo (WASAKI et al., 2003).

Silva et al. (2009a) observaram estudando deficiências nutricionais em pinhão-manso utilizando solução nutritiva 6,08 g de massa seca total na presença de 930 mg de P e na ausência do nutriente 1,95 g demonstrando que a deficiência de P reduziu a produção massa seca total.

Como a mamoneira, o pinhão-manso também contém teores elevados de óleo e proteínas nas sementes, demandando quantidades elevadas de nutrientes, especialmente

nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (SAVY FILHO, 2005). Desta forma, a obtenção de produtividades elevadas requer o cultivo em solos férteis ou suplementados via adubação (OLIVEIRA et al., 2010b). Entre os nutrientes utilizados na adubação de oleaginosas, o elemento fósforo se destaca como o elemento mais estudado e com maior resposta em produtividade, o que está associado, principalmente, à baixa eficiência de absorção do nutriente pela cultura (LAVRES JUNIOR et al., 2009). O nutriente é essencial ao crescimento da planta, que consome grande quantidade de energia para garantir o armazenamento de óleo nas sementes (FERREIRA et al., 2004).

## **II.5 ASPECTOS GERAIS SOBRE A FISIOLOGIA DE PLANTAS SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO**

A baixa disponibilidade hídrica causada por estresse hídrico ou salino é o principal fator ambiental que limita o desenvolvimento das plantas e assim a produtividade agrícola (FLEXAS et al., 2006). Basicamente, os efeitos da redução da disponibilidade hídrica podem ser considerados em três etapas de acordo com as consequências para as plantas (PIMENTEL, 2004).

Na primeira fase, há ligeira deficiência hídrica, porém, sem redução da transpiração. Nesta fase são observados aumento no conteúdo de ácido abscísico (ABA), redução do conteúdo de citocininas e auxinas, decréscimo na expansão foliar e na turgescência, menor síntese de proteínas e fotoinibição (PIMENTEL, 2004).

Já na segunda fase da deficiência hídrica (seca moderada), ocorrem redução da transpiração e da condutância estomática, aumento da condutividade hidráulica das raízes (pela maior atividade das aquaporinas e aumento do fluxo apoplástico), menor fotossíntese devido às limitações estomáticas e não-estomáticas, redução da atividade da redutase do nitrato, da sacarose fosfato sintase e da invertase ácida, aumento no conteúdo de carboidratos solúveis e aminoácidos livres, diminuição do conteúdo de ascorbato, tocoferol, xantofilas e carotenos, menor síntese de ATP e NADPH e consequente redução na regeneração de ribulose-1,5-bisfosfato (RuBP) (PIMENTEL, 2004).

Em condição de deficiência hídrica severa, terceira etapa da desidratação, a transpiração ocorre, basicamente, via cutícula; há também redução da condutividade hidráulica das raízes, redução no fluxo de carboidratos para os drenos, aumento na atividade de enzimas hidrolíticas (proteases, lipases e amilases), degradação de membranas, redução da atividade do sistema antioxidante, decréscimo do conteúdo de



amido, proteínas e clorofila nas folhas e produção acentuada de espécies ativas de oxigênio (PIMENTEL, 2004).

Nota-se portanto, pode-se notar que a deficiência hídrica afeta vários aspectos do metabolismo vegetal, em especial a fotossíntese (CHAVES et al., 2008). Existe a possibilidade de danos fotoquímicos em plantas sob seca, podendo ser observada fotoinibição nessas condições (LONG et al., 1994). Esta consequência pode ser agravada com a intensidade do estresse hídrico a tal ponto que os danos gerados possam ser irreversíveis (BJÖRKMAN & POWLES, 1984). Torna-se importante considerar que a fotoinibição não significa necessariamente fotodano, mais do que isso, a fotoinibição deve ser interpretada como mecanismo fotoprotetor que serve para dissipar o excesso de energia e minimizar o dano ao aparato fotossintético em condições estressantes (BISWAL & BISWAL, 1999; YORDANOV et al., 2003). Tais condições são normalmente observadas quando algum fator ambiental ou mesmo endógeno reduz ou limita a fixação de CO<sub>2</sub>, a qual não é capaz de consumir os produtos fotoquímicos ATP e NADPH (MACHADO, 2009).

A fotossíntese das plantas também é limitada pela restrição da abertura estomática em condição de déficit hídrico, a primeira linha de defesa ativada mesmo antes de reduções no conteúdo de água foliar (YORDANOV et al., 2003). A menor abertura estomática causaria redução na concentração de CO<sub>2</sub> no mesófilo foliar e assim a fotossíntese seria reduzida por limitação de substrato (CHAVES et al., 2002; LAWLOR & CORNIC, 2002).

Possivelmente, a limitação difusiva (menor disponibilidade de CO<sub>2</sub>) ocorreria em estágios iniciais da desidratação foliar (LAWLOR, 2002; YORDANOV et al., 2003). Com o agravamento do déficit hídrico, as reações bioquímicas da fotossíntese poderiam ser afetadas, havendo limitações de origem estomática e não estomática em condição de máximo déficit hídrico. De fato, alterações na capacidade fotossintética (reações bioquímicas) ocorrem apenas quando o volume do protoplasma é reduzido pela metade em plantas sob seca (CORNIC et al., 1992).

O fechamento estomático ocorre devido à sinalização proveniente do sistema radicular em condição de déficit hídrico, passível de acontecer mesmo antes de alterações significativas na hidratação das folhas (LIU et al., 2003; PIMENTEL, 2004). A redução da condutância estomática seria mesmo em tecidos com alto potencial da água seria um indicativo de que as plantas sentem a falta de água através de sinais

provenientes das raízes, os quais também regulariam o surgimento de folhas, a expansão foliar e outros processos do desenvolvimento vegetal (DAVIES & ZHANG, 1991).

Alterações significativas na atividade fotoquímica e bioquímica em virtude da falta de água ocorrem apenas em tecidos foliares com condutância estomática máxima inferior a 0,05 ou 0,10 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, dependendo da espécie (FLEXAS et al., 2006). Nesta situação, danos relativos ao estresse oxidativo já ocorreram e assim Flexas et al. (2006) e Chaves et al. (2008) sugerem que as modificações fotoquímicas e bioquímicas observadas em plantas sob seca são respostas indiretas ao dano oxidativo. Esses autores reafirmam a importância da limitação difusiva da fotossíntese durante o déficit hídrico, como consequência de decréscimos na condutância do mesófilo ao CO<sub>2</sub>.

As modificações bioquímicas e fisiológicas causadas pela seca ocorrem em paralelo à rápida redução na expressão de genes relacionados à fotossíntese (CHAVES et al., 2008). Este último aspecto está envolvido tanto com a percepção como com a resposta das plantas e ocorre mesmo em condições de déficit hídrico moderado (MACHADO, 2009).

Em plantas submetidas à deficiência hídrica, há alterações no conteúdo de carboidratos foliares, mudanças essas relacionadas à ativação de respostas para enfrentar tal condição ambiental adversa (PIMENTEL, 2004). A redução do conteúdo de amido devido à menor fotossíntese e à respiração de manutenção ocasionará aumento no conteúdo de açúcares solúveis, aminoácidos e ácidos orgânicos em condição de seca (LEE et al., 2008; PIMENTEL, 1999).

Farrar (1996) sugere que a variação no conteúdo de carboidratos foliares é um tipo eficiente de sinalização que regula a síntese ou o uso de fotoassimilados nas plantas. Evidentemente, a redução ou mesmo a paralisação do crescimento e o decréscimo da síntese de sacarose em decorrência do déficit hídrico também afetam os níveis de carboidratos foliares (VASSEY & SHARKEY, 1989).

Cornic et al. (1992) relatam o declínio da atividade da sacarose fosfato síntese em condição de déficit hídrico, o que determinaria menor síntese de sacarose e poderia causar aumento na síntese de amido. Essas alterações causariam redução da fotossíntese devido à limitação de fosfato inorgânico. observam-se, porém, aumento no conteúdo de sacarose e consumo de amido em plantas sob seca. Essas respostas seriam decorrentes mais da menor demanda por sacarose pelos drenos do que pelo aumento da síntese.

De fato, Lee et al. (2008) reportam que o aumento do conteúdo de carboidratos solúveis é causado pela hidrólise do amido previamente armazenado e não pela síntese

de açúcares simples. Estudo recente constatou aumento na atividade da sacarose fosfato síntese em plantas submetidas ao déficit hídrico (FRESNEAU et al., 2007), o que também justificaria o aumento do conteúdo de sacarose em condição de seca.

O acúmulo de íons inorgânicos como o  $K^+$  e o  $Cl^-$ , tal como as moléculas acumuladas devido às alterações no metabolismo de carboidratos, tem papel relevante no ajustamento osmótico (MORGAN, 1984). Os solutos acumulados durante o déficit hídrico agem na manutenção do balanço da água na célula, na proteção de enzimas e de membranas; são fontes de nitrogênio e carbono após a reidratação, compreendendo tanto os íons inorgânicos como os ácidos orgânicos (malato e aspartato), carboidratos solúveis (sacarose, frutose, glicose, frutano e trealose) e aminoácidos livres e proteínas (HOEKSTRA et al., 2001; LAWLOR, 2002; YORDANOV et al., 2003; ASHRAF & FOOLAD, 2007; WAHID, 2007).

Os solutos mais relevantes são os açúcares solúveis, aminoácidos e  $K^+$  (TURNER & JONES, 1980). Boa correlação entre o acúmulo de prolina (aminoácido livre) e a tolerância à seca de plantas tem sido observada (ARRAZATE et al., 2005; HSIAO, 1973); no entanto, há resultados divergentes na literatura (AKRAM et al., 2007). O aumento no conteúdo de prolina pode ocorrer pelo aumento na síntese e/ou redução da oxidação e/ou ainda menor incorporação em proteínas e/ou aumento da proteólise (LAWLOR, 2002; PIMENTEL, 2004).

O acúmulo de solutos compatíveis, que não interferem na estrutura nem na função celular, ocorre em resposta à desidratação e tem como finalidade a regulação osmótica e a manutenção da hidratação celular (HOEKSTRA et al., 2001). Ao diminuir o potencial osmótico do tecido, há uma tendência de maior retenção de água. Vários solutos compatíveis causam redução no potencial osmótico celular quando em alta concentração, podendo levar ao ajustamento osmótico (YORDANOV et al., 2003). A glicina-betaína e a prolina são importantes exemplos de metabólitos que têm conteúdo aumentado e estão relacionados ao ajustamento osmótico em condição de déficit hídrico (ARRAZATE et al., 2005; ASHRAF & FOOLAD, 2007; KISHOR et al., 2005).

O ajustamento osmótico é tido como mecanismo ativo de concentração de solutos no citoplasma celular, capaz de reduzir o potencial osmótico e consequentemente o potencial total da água em tecidos vegetais e assim manter o abastecimento de água (MEDRANO & FLEXAS, 2003). O aumento do gradiente de potencial entre as folhas e o solo torna menos difícil o movimento da água entre essas

regiões do contínuo solo-planta-atmosfera em condição de déficit hídrico. O ajustamento osmótico também é importante para manter o volume celular, evitando a plasmólise e os danos em membranas (MEDRANO & FLEXAS, 2003) impedindo danos na atividade bioquímica da fotossíntese (CORNIC et al., 1992).

O menor crescimento de plantas submetidas à seca tem sido creditado primariamente à perda de turgescência celular, todavia, NEUMANN (1995) argumenta que as alterações do crescimento de plantas estressadas são ocasionadas pelo ajustamento da parede celular (capacidade de extensão do tecido) em raízes, caules e folhas. O enrijecimento da parede celular aumentaria a capacidade das células em manter a turgescência, mas também levaria à inibição do crescimento celular e só estão determinaria menor área foliar e redução da transpiração em condição de seca (NEUMANN, 1995).

Plantas adaptadas à seca apresentam mecanismos de tolerância à baixa disponibilidade de água, cuja finalidade essencial é manter o metabolismo vegetal em níveis adequados e permitir o desenvolvimento das plantas. Os mecanismos de tolerância podem ser considerados em duas categorias segundo o estado de hidratação dos tecidos (KRAMER, 1980; PIMENTEL, 2004;).

Em plantas com alto conteúdo de água, se observa fechamento estomático, enrolamento foliar, mudança no ângulo da folha, aumento da condutividade hidráulica das raízes, maior enraizamento, manutenção da área foliar fotossinteticamente ativa, perfilhamento, remobilização de reservas do caule e dos ramos, xeromorfismo, aumento da dissipação térmica da fluorescência da clorofila e metabolismo fotossintético do tipo CAM (ácido das crassuláceas). Em condição de baixo conteúdo de água, há redução da área foliar, acúmulo de carboidratos nas raízes, ajustamento osmótico, alteração do módulo de elasticidade da parede celular, acúmulo de açúcares solúveis e aminoácidos nas folhas para manutenção estrutural das macromoléculas e a tolerância protoplasmática mantendo a integridade membranar (KRAMER, 1980; PIMENTEL, 2004; PIMENTEL et al., 2000).

Dentre as razões fisiológicas que determinam as diferenças entre genótipos tolerantes e sensíveis à seca, se destacam: (i) manutenção do estado hídrico dos tecidos em plantas tolerantes, relacionada ao rápido decréscimo da abertura estomática e limitação da transpiração, (ii) eficiente remoção dos efeitos negativos da seca durante a reidratação (GRZESIAK et al., 2006).

## CAPÍTULO III – MATERIAL E MÉTODOS

### III.1. HISTÓRICO DA PESQUISA

Este trabalho é a continuação de uma pesquisa desenvolvida com a cultura do pinhão-manso, por Silva (2009) e Nery (2011) com água residuária e água salina, que se iniciaram em abril de 2007. A parte experimental da pesquisa foi conduzida sob ambiente protegido, casa de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB, com latitude 07°15'18''Sul, longitude 35° 52' 28'' Oeste e altitude média 550 m. O clima da região é do tipo Csa, que representa clima mesotérmico, sub-úmido com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno conforme a classificação climática de Köppen, adaptada ao Brasil (COELHO & SONCIN, 1982).

Os experimentos foram constituídos de 40 recipientes cada uma, totalizando 80 lisímetros com capacidade para 200 L (D=0,58m e h=0,75m); em que o sistema de drenagem era composto de tela, camada de 2 cm de brita, 2 cm de areia, duas mangueiras na parte inferior e dois recipientes coletores de 2 L.

Em cada recipiente foram colocados 230 kg de material de solo classificado como Argissolo Acinzentado Eutrófico (SANTOS et al., 2006) textura franco-arenosa, não salino e não sódico retirado da camada de 0-30 cm, proveniente do distrito de São José da Mata, Campina Grande, PB, cujas características químicas e físicas se encontra nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

**Tabela 2.** Características químicas do solo antes e após de calagem e adubação no início do experimento em 2007

Elemento	Unidade	Antes da calagem	Depois da calagem
Cálcio (Ca <sup>++</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,67	1,25
Magnésio (Mg <sup>++</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	1,19	1,55
Sódio (Na <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,03	0,29
Potássio (K <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,07	0,30
Soma de bases	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	1,96	3,39
Hidrogênio (H <sup>+</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,55	0,20

Alumínio (Al <sup>+++</sup> )	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,80	0,05
Capacidade de troca iônica (CTC)	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	3,31	3,64
Saturação de bases (V)	%	59,21	93,13
Porcentagem de sódio trocável (PST)	%	0,91	0,89
Carbono orgânico (C-Org.)	g kg <sup>-1</sup>	1,10	1,10
Matéria orgânica ( M.O.= 1,724* C-Org.)	g kg <sup>-1</sup>	1,90	1,90
Nitrogênio (5% M.O.) (N-Org.)	g kg <sup>-1</sup>	0,09	0,09
Fósforo assimilável (P)	mg kg <sup>-1</sup>	0,10	81,60
pH em água (1:2,5) (pH)	-	5,20	6,18
CE da suspensão solo – água (1:2,5) (CEsa)	dS m <sup>-1</sup>	0,19	0,29

**Tabela 3.** Características físico-hídricas do substrato utilizado no experimento no início do experimento em 2007

Características físico-hídricas	Unidade	Valor
Areia	g kg <sup>-1</sup>	733
Silte	g kg <sup>-1</sup>	84
Argila	g kg <sup>-1</sup>	183
Classificação textural	-	franco-arenoso
Densidade do solo	g cm <sup>-3</sup>	1,60
Densidade das partículas	g cm <sup>-3</sup>	2,75
Porosidade	%	41,82
Capacidade de campo (10,13 kPa)	g kg <sup>-1</sup>	82,00
Ponto de murchamento (1519,87 kPa)	g kg <sup>-1</sup>	20,50
Água disponível	g kg <sup>-1</sup>	61,50

No início, o delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com tratamentos de dois fatores isolados: salinidade da água de irrigação com cinco níveis (CEa) de 0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C e reposição do consumo hídrico, com cinco níveis de água residuária (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 do consumo da planta) distribuídos em esquema fatorial com quatro repetições, sendo a parcela constituída por duas plantas. A semeadura do pinhão-mansão foi realizada em tubetes contendo substrato composto por uma mistura orgânica esterilizado mantendo-se a umidade na capacidade de campo através do turno de rega diário com quantidade

suficiente para encharcar os tubetes, a fim de possibilitar a seleção das plantas mais vigorosas. O transplântio para os vasos definitivos ocorreu aos 19 DAS (dias após a semeadura), sendo irrigado, inicialmente o solo para atingir a capacidade de campo e posteriormente, realizadas irrigações com turno de rega de dois dias aplicando-se 2 L de água de abastecimento e aos 38 DAS iniciados os tratamentos com aplicações de água residuária de esgoto doméstico e água salina, para cada experimento separado.

No ensaio com água salina as soluções foram preparadas a partir da adição à água de abastecimento dos sais NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O na proporção equivalente 7:2:1, entre os cátions Na<sup>+</sup>: Ca<sup>++</sup>: Mg<sup>++</sup>, respectivamente. Para o ensaio de irrigação com água residuária utilizou-se água bombeada do riacho de Bodocongó, a qual foi tratada por processo biológico anaeróbico em reator tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

Nos dois primeiros anos do experimento foram seguidas as recomendações de adubação sugeridas por Novais et al. (1991) para ensaios conduzidos em ambientes protegidos. O solo recebeu na adubação de fundação 100; 300 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente utilizando como fonte de nutrientes uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio em dose única. Para o segundo ano de cultivo seguiu-se a mesma recomendação para adubação de fundação porém como adubação de cobertura fracionada mensalmente, durante o ano.

### **III 2. INÍCIO DAS ATIVIDADES REFERENTES À PESQUISA ATUAL**

A atual pesquisa teve início em fevereiro de 2009 com a poda das plantas de pinhão-mansinho no início do terceiro ano de produção, estendendo-se até abril de 2010 quando as plantas se encontravam no quarto ano de produção. No início do terceiro ano de cultivo foi realizada em ambos os ensaios uma poda drástica, deixando-se todas as plantas com altura de 60 cm, retirando-se os galhos acima e todas as folhas, deixando-se três galhos principais e se aplicando em seguida defensivos agrícolas (ABAMEC; 0,25, MARCHAL 200SC; 0,50, KARATE ZEON 50CS 0,50 e RIVAL; 0,20 (mL L<sup>-1</sup>)), com o intuito de precaver possíveis danos causados por fungos ou pragas; aos 30 DAP (dias após poda), foi realizado o primeiro desbaste, deixando-se apenas as duas brotações mais vigorosas por galho totalizando seis brotações por planta, aos 45 DAP foi efetuado o segundo desbaste, quando se eliminaram todas as brotações menores, entretanto, o controle de brotação continuou periodicamente.

A partir do terceiro ano de cultivo os dois experimentos receberam mais um tratamento que foi a aplicação de duas doses de fósforo anualmente, sendo a primeira dose de 135 g planta<sup>-1</sup> e a outra com 200 g planta<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e o experimento passou a ter uma planta por unidade experimental. As parcelas experimentais ficaram espaçadas em 1,6 x 1,7 m dentro dos blocos e 1,7 m entre blocos.

A aplicação dos tratamentos ocorreu no dia posterior à poda e as irrigações foram realizadas ao final da tarde seguindo um turno de rega de três dias e fixada uma fração de lixiviação de 0,15 para os tratamentos com água salina; como manejo para evitar acumulação excessiva de sais no solo e fração de lixiviação de 0,05 para a lâmina de reposição hídrica de 100% para confirmação da capacidade de campo.

O volume de água aplicado na irrigação era calculado conforme a quantidade de água drenada e o volume de água aplicada na irrigação anterior, após conhecimento das quantidades utilizava-se a Equação 1, visando obter a quantidade a ser aplicada.

$$= \text{————} \quad \text{Eq. 1}$$

em que:

VI = Volume de água a ser aplicada na irrigação (L);

VA = Volume de água aplicado na irrigação anterior (L);

VD = Volume de água drenado após a irrigação anterior (L);

FL = Fração de lixiviação.

Para o experimento com água salina o valor obtido era o aplicado, porém, para o experimento com água residuária, esta equação é utilizada para obter a quantidade aplicada para a lâmina de 100%, para as lâminas restantes era só calcular as frações.

Para adubação mineral do terceiro ano de produção foram incorporados ao solo 80 g planta<sup>-1</sup> de N, 62 g planta<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e as duas doses de fósforo (135 e 200 g planta<sup>-1</sup>), conforme os tratamentos, valores esses fracionados igualmente e aplicadas mensalmente as quantidades de 14,81 g de uréia, 8,62 de cloreto de potássio e 55,56 e 83,33 g de superfostato simples referentes às duas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em intervalos mensais. Somente no experimento com água salina no início das adubações aplicou-se ao solo 1 kg de húmus em cada vaso em dose única com o objetivo de elevar o conteúdo de matéria orgânica. A aplicação de micronutrientes foi realizada semanalmente via adubação foliar (ALBATRÓS; 1,8 g L<sup>-1</sup>).

Durante o intervalo do terceiro e quarto ano de produção as plantas foram submetidas ao estresse hídrico total durante 35 dias (27 de agosto a 2 de outubro). Cujo

objetivo era proporcionar um período de descanso as plantas e a poda foliar que consiste no ato da planta perder todas as folhas. Ao final do período foram retiradas as folhas restantes que ainda permanecessem nas plantas, sem retirar nenhum galho nem brotações. Apesar disto, foi realizada em seguida uma aplicação de fungicida em seguida com o intuito de precaver prováveis danos causados por fungos ou pragas.

Para o quarto ano de cultivo as fontes de fertilizantes nitrogenados e potássicos foram substituídas para nitrato de cálcio e nitrato de potássio, sem alterar as quantidades de nutrientes disponíveis às plantas, com a intenção de evitar o aumento da acidificação da solução do solo.

Durante a condução do experimento foram realizados os seguintes tratamentos culturais: eliminação manual das plantas daninhas, escurificação superficial do solo a cada duas irrigações e pulverizações efetuadas uma vez por semana com produtos indicados para controle preventivo de insetos e doenças.

No entanto, para os dois primeiros anos os tratamentos foram constituídos de irrigações com cinco lâminas de água residuária e as cinco diferentes concentrações de água salina. Os tratamentos culturais eram os mesmos para ambos os experimentos durante todo o período da pesquisa. o que corresponde às aplicações de defensivos, adubações de cobertura e foliares, turno de rega e colheita, ou seja, todos os tratamentos culturais.

Ainda no primeiro mês (fevereiro de 2009) de experimento foi realizada uma coleta de dados em que se obteve um estudo do sistema radicular que é de grande importância, pois as raízes estão diretamente relacionadas com a absorção da água e nutrientes para as plantas e, conseqüentemente, com a produção das culturas. Os fatores do solo que afetam o desenvolvimento radicular podem ser divididos em químicos, como nutrientes e elementos tóxicos, e físicos, como resistência mecânica à penetração, disponibilidade hídrica e aeração (ROSOLEM, 1995).

O objetivo deste trabalho foi quantificar a densidade de raízes de pinhão-manso em função da irrigação com água residuária e salina após dois anos de produção. As amostras de raízes foram coletadas no início do terceiro ano de produção do pinhão-manso; para obtenção da densidade das raízes foram retiradas quatro amostras de solo indeformadas com um trado cilíndrico de ponta serrilhada para facilitar o corte das raízes em duas profundidades, 0,25 cm – DR<sub>1</sub> e 0,50 cm – DR<sub>2</sub>.

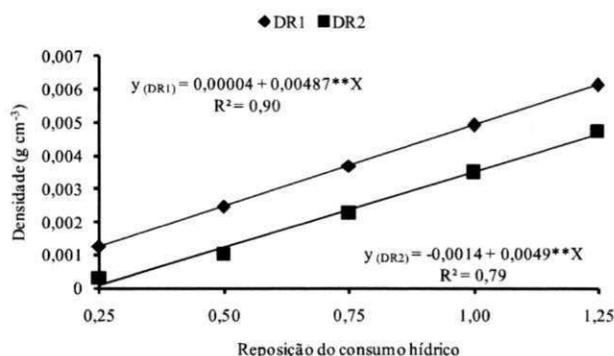
Constatou-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) dos níveis de reposição do consumo hídrico com água residuária (Tabela 4) sobre o desenvolvimento das raízes do pinhão-manso.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para densidade de raízes de pinhão-mansão, cultivadas com água residuária no início do terceiro ano de produção

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios	
		DR1	DR2
Reposição Hídrica (RH)	4	0,000016**	0,000019**
Bloco	3	0,000041**	0,000010ns
Resíduo	12	0,000002	0,000003
CV (%)		39,47	73,68

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns - Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

A densidade das raízes das plantas de pinhão-mansão sofreu redução de 74,33; 49,56 e 24,77% e acréscimo de 24,77% para 0,25; 0,50; 0,75 e 1,25 RH, respectivamente, em relação à lâmina 1,00 RH (Figura 1).



**Figura 1.** Densidade de raízes de pinhão-mansão cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária

Observa-se, na Tabela 5 que não foi constatado efeito significativo dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação sobre o desenvolvimento das raízes do pinhão-mansão.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para densidade de raízes de pinhão-mansão cultivadas com água salina no início do terceiro ano de produção

Causa de Variação	GL	Quadrados Médios	
		DR <sub>1</sub>	DR <sub>2</sub>
Nível Salino (NS)	4	0,000000794ns	0,000000349ns
Bloco	3	0,000000538ns	0,000000470ns
Resíduo	12	0,000000459	0,000000150
CV (%)		80,88	66,52

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns - Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

## **CAPÍTULO IV – TRABALHOS REALIZADOS**

### **IV.1. BIOMETRIA E DESENVOLVIMENTO DE PINHÃO-MANSO IRRIGADO COM DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA RESIDUÁRIA E ADUBAÇÃO FOSFATADA**

**RESUMO:** O crescimento demográfico não só demanda maior exploração e utilização da água, mas também gera diferentes tipos de água residuária, como efluentes que são lançados diretamente nos cursos hídricos. Neste contexto, objetivou-se, com este trabalho, avaliar a viabilidade do uso de água residuária de origem doméstica sobre o crescimento de plantas de pinhão-manso, durante o terceiro ano de produção cultivado em ambiente protegido. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados sendo que os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 5 x 2, constituindo os fatores cinco níveis de reposição hídrica – RH (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 do consumo da água pela planta) e duas doses de fósforo (135 e 200 g planta<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) com quatro repetições. As plantas foram cultivadas em condições de vaso com capacidade de 200 L e no início do 3º ano de produção (presente trabalho) foi realizada uma poda drástica. As variáveis altura de planta, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar do pinhão-manso foram influenciadas pelas lâminas de reposição hídrica do consumo a partir dos 30 dias após a poda (DAP). O número de folhas e o diâmetro caulinar foram afetados pelas doses de fósforo aos 30 e 90 DAP, respectivamente. A altura de planta e a área foliar foram influenciadas pela interação dos fatores aos 30, 60 e 90 DAP; já o peso de frutos e a eficiência do uso da água do pinhão-manso foram afetados pelas lâminas de reposição hídrica aplicadas; no entanto, não foram afetadas pelas doses de fósforo.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L. Reúso. Índices fenológicos. Nutrição mineral

## **BIOMETRICS AND DEVELOPMENT OF PHYSIC NUT IRRIGATED WITH DIFFERENT DEPTHS OF WASTEWATER AND PHOSPHORUS FERTILIZATION**

**ABSTRACT:** The population growth not only demands further exploration and use of water, but generates different types of wastewater, such as sewage which is dumped directly into watercourses. In this context, the aim of this study was to evaluate the influence of the use of wastewater from domestic sources on the growth of plants of physic nut during the third year of production under protected ambient. A randomized block design in a 5 x 2 factorial scheme was used, the factors being five levels of water replacement – WR (0.25, 0.50, 0.75, 1.00 and 1.25 times water consumed by the plant) and two levels of phosphorus (135 and 200 g plant<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) with four replications. Plants were grown in recipients with a capacity of 200 L and in the beginning of the 3<sup>rd</sup> year of production (present study) a drastic pruning was performed. The variables plant height, stem diameter; leaf number and leaf area of the physic nut were influenced by the depth of water replacement from 30 days after pruning (DAP). The leaf number and stem diameter were affected by phosphorus dose at 30 and 90 DAP, respectively. The plant height and leaf area were influenced by the interaction (WR x phosphorus dose) at 30, 60 and 90 DAP. The weight of the fruit and water use efficiency of physic nut were affected by the depth of water applied but were not influenced by phosphorus dose.

**Keywords:** *Jatropha curcas* L. Reuse. Phenological indices. Mineral nutrition

#### IV.1.1. Introdução

A aplicação de efluente de esgotos no solo é uma forma efetiva de controle da poluição, além de uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semiáridas. Os maiores benefícios dessa forma de reúso estão associados aos aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública (SILVA et al., 2009d).

O uso de efluentes na irrigação é uma prática antiga em países como Austrália, Israel, Estados Unidos, Egito, Arábia Saudita, Tunísia, México, Chile e Peru (HUSSAR et al., 2005; RODRIGUES et al., 2009). No Brasil, o reúso de águas servidas não é relevante, mas se registram vários exemplos de utilização de esgotos sanitários em irrigação, em geral de forma espontânea e não controlada, principalmente em periferias das grandes cidades (MEDEIROS et al., 2007).

A utilização das águas residuárias tratadas na agricultura é importante não apenas por servir como fonte extra de água, mas também de nutrientes para as culturas (SANDRI et al., 2007). Neste contexto, as plantas desempenham papel fundamental, extraindo macro e micronutrientes disponibilizados pelas águas residuárias, necessária ao seu crescimento, evitando acúmulo, a conseqüente salinização do solo e a contaminação das águas superficiais e subterrâneas (RIBEIRO et al., 2009a).

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) pertence à família *Euphorbiaceae*, e uma espécie com amplo potencial agrícola, destacando-se pela produtividade e qualidade satisfatória do óleo, visando à produção de biodiesel. Recentemente, despertou interesse comercial no País, por apresentar características desejáveis tanto na renovação da base energética nacional como na agricultura familiar, favorecendo a permanência do homem no campo (DALLACORT et al., 2010). De acordo com Oliveira et al. (2010a), o pinhão-mansão está sendo considerado opção agrícola vantajosa para o Nordeste, por se de tratar de espécie exigente em insolação e com forte resistência à seca. Segundo Drumond et al. (2010) esta oleaginosa produz em média 330 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, em condições de sequeiro e 1.200 kg ha<sup>-1</sup> em área irrigada no primeiro ano de produção e, conforme Tominaga et al. (2007), o pinhão-mansão tem potencial para atingir 8.000 kg ha<sup>-1</sup>, após o quarto ano de produção, dependendo do manejo de irrigação.

Em geral, os solos brasileiros, em especial os do Nordeste, são ácidos e de baixa fertilidade natural, sobremaneira em nitrogênio e fósforo que têm limitado o rendimento das culturas (SOUZA et al., 2009). Limitações de fósforo no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento das raízes e parte aérea, das quais a

planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de fósforo a níveis adequados no decorrer de seu crescimento (GRANT et al., 2001).

O suprimento adequado de fósforo é diferente dos demais nutrientes essenciais, desde o estágio inicial de crescimento da planta, para garantir bom desenvolvimento (ZUCARELI et al., 2006). Neste sentido, Almeida Júnior et al. (2009) obtiveram, pesquisando doses de fósforo em mamona, cultura da mesma família do pinhão-mansão diferença significativa positiva, afirmando que o fósforo age no crescimento nos primeiros meses de cultivo.

Em função do exposto objetivou-se, com este trabalho, avaliar a viabilidade da aplicação de lâminas de irrigação com água residuária de origem doméstica e duas doses de fósforo sobre o crescimento, produção de frutos e eficiência do uso da água do pinhão-mansão durante o terceiro ano de cultivo.

#### IV.1.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado no período de fevereiro a setembro de 2009, em casa de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, PB, com as seguintes coordenadas geográficas: 07°15'18'' de latitude Sul, 35°52'28'' de longitude Oeste e altitude média de 550 m. O clima da região é do tipo Csa, que representa clima mesotérmico, subúmido com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno, conforme a classificação climática de Köppen, adaptada ao Brasil (COELHO; SONCIN, 1982).

Adotou-se o delineamento em blocos casualizados e os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator a reposição do consumo hídrico (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 do consumo de água pela planta) e o segundo, os níveis de fósforo (DP<sub>1</sub> - 135 e DP<sub>2</sub> - 200 g planta<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) com quatro repetições. Os tratamentos de referência foram a lâmina de irrigação de 100% e a dose de 135 g por planta (TOMINAGA et al., 2007). A água residuária foi proveniente do riacho Bodocongó, que serve de córrego para efluente doméstico a céu aberto e apresentou pH, 7,5; CE, 1,3 dS m<sup>-1</sup>; P, K, N total, Ca e Mg, respectivamente, 6,7; 31,8; 59,7; 42,9 e 41,2 mg L<sup>-1</sup>, após tratada em um reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

O ensaio foi iniciado em abril de 2007 em espaçamento de 1,6 x 1,7 m. Utilizaram-se, como lisímetros de drenagem, recipientes plásticos com capacidade de 200 L e uma planta por vaso. O material de solo utilizado foi classificado como Argissolo Acinzentado Eutrófico (SANTOS et al., 2006), textura franco-arenosa, não salino e não sódico, retirado na camada de 0-30 cm de profundidade e proveniente do distrito de São José da Mata, Campina Grande, PB.

Para os dois primeiros anos do experimento foram obedecidas as recomendações de adubação sugeridas por Novais et al. (1991) para ensaios conduzidos em ambientes protegidos. Antes do plantio, na fundação foram aplicadas 100, 300 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de solo de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O utilizando-se, como fonte de nutrientes, uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente e para o segundo ano de cultivo seguiu-se a mesma recomendação para adubação de fundação, porém como adubação de cobertura.

No início do terceiro ano de cultivo foi realizada uma poda drástica, deixando-se todas as plantas com 60 cm de altura. Na adubação mineral foram incorporados ao solo 80 g planta<sup>-1</sup> de N e 62 g planta<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, além das respectivas doses de fósforo (135 ou 200 g planta<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

A quantidade de fertilizante utilizado foi fracionada igualmente com aplicação mensal durante 12 meses.

As irrigações foram realizadas manualmente, ao final da tarde, seguindo-se um turno de rega de três dias e se fixando a fração de lixiviação em 0,05 para a lâmina de reposição hídrica de 1,00 (RH), com vista à confirmação da capacidade de campo neste tratamento. Durante a condução do experimento foram realizados os seguintes tratamentos culturais: eliminação manual das plantas daninhas, escarificação superficial do solo a cada duas irrigações e as pulverizações foram efetuadas uma vez por semana com produtos indicados para controle preventivo de insetos e doenças fúngicas.

Avaliou-se o crescimento inicial do pinhão-mansão aos 30, 60 e 90 dias após a poda (DAP) por meio da determinação de altura de planta, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar. No final do ciclo (terceiro ano do cultivo) foram aferidas a massa dos frutos de pinhão-mansão e a eficiência do uso da água. Definiu-se a altura de planta considerando-se o ramo principal, mensurando-o do colo da planta até o ápice; o diâmetro caulinar foi aferido a 5 cm da superfície do solo e na contagem de número de folhas consideraram-se apenas aquelas completamente expandidas, maiores de 3 cm de comprimento. A área foliar foi estimada segundo recomendações de Severino et al. (2007).

A colheita dos frutos foi realizada a cada três dias, e os quais foram postos para secagem ao ar, por mais três dias. Após este procedimento os frutos foram pesados em balança de precisão (0,01 g) e a eficiência do uso da água (EUA) foi determinada pela relação entre o peso dos frutos (kg) e o volume de água ( $m^3$ ) efetivamente consumido em cada parcela (planta), de acordo com a metodologia descrita por Barker et al. (1989).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste F, e nos casos de significância realizou-se análise de regressão polinomial linear e quadrática, utilizando-se o software estatístico SISVAR-ESAL (FERREIRA, 2003).

### IV.1.3. Resultados e Discussão

De acordo com os resultados, foi notório o efeito significativo ( $p < 0,01$ ) das lâminas de reposição hídrica com água residuária para as variáveis altura de planta e diâmetro caulinar de plantas de pinhão-manso (Tabela 6). Observa-se, também, efeito significativo ( $p < 0,05$ ), para interação de reposição hídrica e doses de fósforo aos 30 dias após a poda (DAP) para altura de planta e efeito significativo ( $p < 0,01$ ) isolado das doses de fósforo aos 90 DAP para diâmetro caulinar.

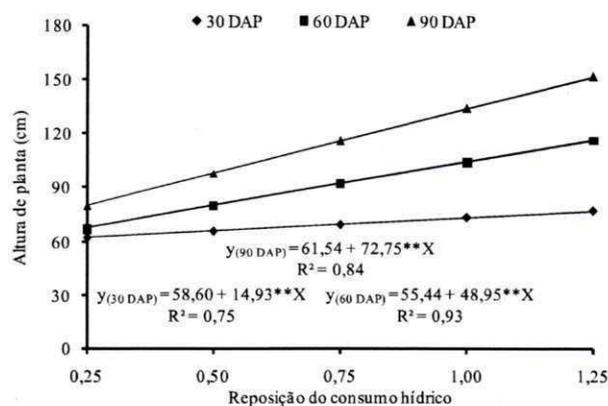
**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para altura de planta (AP) e diâmetro caulinar (DC) avaliados aos 30, 60 e 90 dias após poda (DAP) em plantas de pinhão-manso cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária e fertilizados com fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		AP			DC		
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP
Reposição hídrica (RH)	4	372,12**	3222,15**	7920,96**	2044,16**	2481,71**	2167,72**
Reg. Linear	1	1114,52**	103,51**	26462,81**	7799,28**	9526,61**	8520,19**
Reg. Quadrático	1	16,05ns	318,94ns	4068,08**	155,34ns	130,72ns	116,04**
Desvio Regressão	2	178,96ns	294,58ns	576,48ns	111,01ns	134,76*	17,33ns
Dose de fósforo (DP)	1	257,56ns	184,90ns	3,60ns	0,11ns	14,40ns	230,88**
Interação (RH x DP)	4	226,68*	246,78ns	390,41ns	30,57ns	33,46ns	20,59ns
Bloco	3	235,67**	59,77ns	630,07ns	11,90ns	11,53ns	19,69ns
Resíduo	27	64,21	115,75	241,20	36,51	32,29	21,43
CV (%)		<b>11,48</b>	11,68	13,38	8,11	7,25	5,99

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

Em todas as épocas de avaliação estudadas observou-se resposta linear à reposição do consumo hídrico para a variável altura de planta, sendo os maiores valores 73,53; 104,39 e 134,29 cm, obtidos quando se aplicou a lâmina 1,00 da reposição do consumo hídrico (RH) (Figura 2).

Constatou-se redução na altura, de 15,23; 35,17 e 47,71% nas plantas irrigadas com lâmina de 0,25 RH aos 30, 60 e 90 DAP, respectivamente, quando comparadas com a lâmina 1,00 RH (Figura 2). Esses resultados corroboram com Silva et al. (2009d) que, em estudo do cultivo de pinhão-manso com variação de 0,25 a 1,25 de reposição da evapotranspiração com água residuária, obtiveram efeito significativo sobre a altura de planta ajustando-se melhor ao modelo linear.

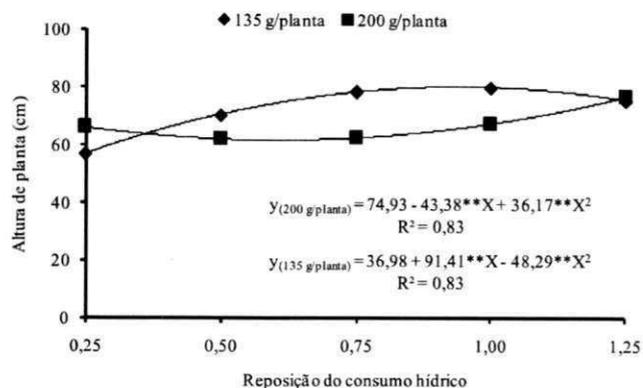


**Figura 2.** Altura de plantas (AP) de pinhão-manso cultivadas em condições de lâminas de irrigação com água residuária, fertilizadas com fósforo e avaliadas aos 30, 60 e 90 dias após a poda (DAP).

Para Hsiao (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 não suficiente mantém as células das zonas de crescimento em condições de flacidez, reduzindo o coeficiente de divisão celular e a expansão de todas as células impedindo, desta forma, o crescimento vegetativo das plantas. Concordando com os dados obtidos neste trabalho, justifica-se o desenvolvimento reduzido da altura de planta do pinhão-manso submetido a baixos níveis de disponibilidade de água.

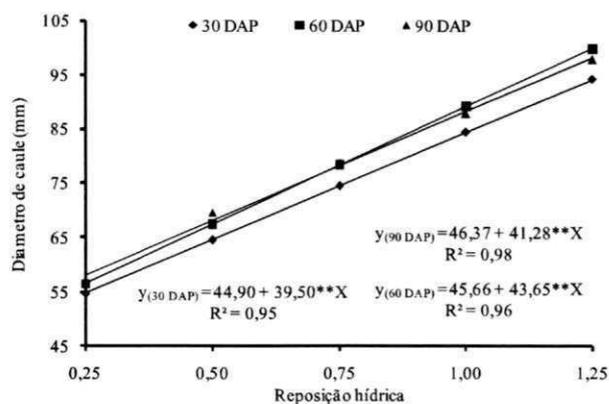
Nota-se, no desdobramento da interação RH x DP (reposição do consumo hídrico x doses de fósforo) que as plantas que receberam as lâminas 0,50, 0,75 e 1,00 RH, aos 30 DAP, apresentaram altura de 70,61; 78,37 e 80,10 cm, respectivamente, com a menor dose de fósforo (DP<sub>1</sub> – 135 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e nas lâminas de reposição hídrica de 0,25 e 1,25 a altura alcançada foi 66,35 e 77,22 cm, respectivamente, com a maior dose de fósforo (DP<sub>2</sub> – 200 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), segundo a equação da regressão (Figura 3). As diferenças talvez sejam devidas à variação em velocidade de brotação após a poda drástica, visto que em datas posteriores (60 e 90 DAP) o efeito da interação não foi significativo.





**Figura 3.** Efeito de doses de fósforo em diferentes lâminas de reposição hídrica sobre altura de planta (AP) de pinhão-mansão aos 30 dias após a poda (DAP).

Os níveis de reposição de consumo hídrico não só promoveram efeitos significativos sobre o diâmetro caulinar, em todos os períodos estudados nas se ajustaram ao modelo linear ( $p < 0,01$ ) (Figura 4); os valores obtidos através da equação de regressão, foram 84,40; 89,31 e 87,89 mm para a lâmina de 1,00 RH aos 30, 60 e 90 DAP. Verificaram-se reduções de 35,09; 36,64 e 35,52% nas plantas irrigadas com 0,25 RH quando comparadas com as do tratamento de 1,00 RH aos 30; 60 e 90 DAP, respectivamente, demonstrando uniformidade.



**Figura 4.** Diâmetro caulinar (DC) em plantas de pinhão-mansão cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária, fertilizados com fósforo e avaliados aos 30, 60 e 90 dias após a poda (DAP).

O diâmetro caulinar decresceu à medida em que os níveis de reposição do consumo de água diminuíram, como decorrência natural das condições hídricas desfavoráveis para divisão e alongamento celular afetando, possivelmente, o câmbio caulinar (RAVEN et al., 2001; TAIZ & ZEIGER, 2004).

Albuquerque et al. (2009) também constataram, avaliando a influência de níveis de água disponível no solo no crescimento do diâmetro caulinar de plantas de pinhão-mansão, efeito significativo ( $p < 0,01$ ) ajustando-se melhor ao modelo linear obtiveram, então, os maiores diâmetros no tratamento com 100% de água disponível no solo.

Observou-se haver efeito significativo das doses de fósforo sobre o diâmetro caulinar aos 90 DAP, apresentando médias de 79,73 e 74,93 mm para os tratamentos DP<sub>1</sub> e DP<sub>2</sub>, respectivamente. Este resultado diverge dos obtidos por Souza et al. (2009) que, estudando os efeitos da adubação fosfatada para a cultura da mamoneira, espécie da mesma família do pinhão-mansão, com doses variando de 80 a 320 kg ha<sup>-1</sup>, não observaram diferença significativa entre os tratamentos.

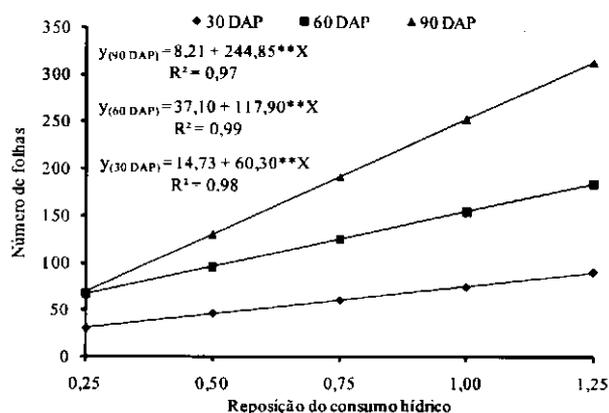
Na Tabela 7 observa-se que o número de folhas foi significativamente ( $p < 0,01$ ) influenciado pelas lâminas de reposição hídrica aos 30, 60 e 90 DAP e pelas doses de fósforo aos 30 DAP. A variável área foliar também foi afetada significativamente ( $p < 0,01$ ) pelas lâminas de reposição, pelas doses de fósforo, isoladamente, aos 60 e 90 DAP e também se obteve efeito interativo aos 30, 60 e 90 DAP para reposição do consumo hídrico das plantas e doses de fósforo (RH x DP).

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância para número de folhas (NF) e área foliar (AF) avaliados aos 30, 60 e 90 dias após poda (DAP) em plantas de pinhão-mansão cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária e fertilizados com fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		NF			AF		
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP
Reposição hídrica (RH)	4	4655,29**	17629,09**	77275,34**	0,57**	11,93**	20,18**
Reg. Linear	1	18180,45**	69502,05**	299757,61**	1,94**	46,50**	74,82**
Reg. Quadrático	1	195,57ns	869,14ns	8041,08**	0,24**	1,11**	1,49**
Desvio Regressão	2	122,56ns	72,58ns	651,33ns	0,05**	0,06ns	2,20**
Dose de fósforo (DP)	1	1322,50**	837,23ns	184,90ns	0,01ns	0,42**	3,34**
Interação (RH x DP)	4	35,44ns	215,79ns	477,71ns	0,03**	2,79**	3,32**
Bloco	3	201,77ns	1218,96**	1304,10ns	0,01ns	0,12**	0,23ns
Resíduo	27	110,79	225,35	1118,21	0,01	0,02	0,14
CV (%)		17,56	11,96	17,43	18,58	9,20	16,93

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

A disponibilidade de água no solo influenciou, de forma linear, o número de folhas em plantas de pinhão-mansão, em todas as épocas avaliadas (Figura 5).



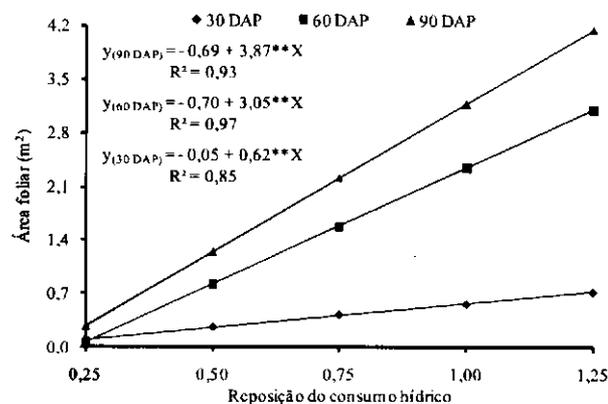
**Figura 5.** Número de folhas (NF) em plantas de pinhão-mansão cultivadas em condições de lâminas de irrigação com água residuária, fertilizados com fósforo e avaliados aos 30, 60 e 90 dias após a poda (DAP).

As plantas irrigadas com 0,25 RH apresentaram reduções de 60,28; 54,04 e 72,56% quando comparadas com as plantas que receberam 1,00 RH aos 30, 60 e 90 DAP. Silva et al. (2009d), avaliando o crescimento do pinhão-mansão submetido a cinco níveis de reposição da evapotranspiração com água residuária, obtiveram diferença estatística somente para número de folhas, aos 60 dias após transplântio, com obtenção de decréscimos de 48,79; 54,35 e 50,14% em plantas irrigadas com 0,25 RH quando comparadas com as plantas que receberam 1,00 RH nas três avaliações seguidas, evento que pode ser justificado, segundo Taiz & Zeiger (2004), pela redução do número de folhas nas plantas à divisão celular, que é um processo que depende do turgor e, portanto, é extremamente sensível à disponibilidade de água no solo para as plantas; assim, a restrição hídrica limita não só o tamanho da planta, mas também o número de folhas, ainda, segundo estes autores, as folhas desenvolvem uma cutícula mais grossa, para reduzir a perda de água por transpiração medidas que aumentam a eficiência de uso de água pela planta, conforme constatado nas plantas de pinhão-mansão que recebiam a menor lâmina de irrigação.

Os níveis de reposição do consumo hídrico ocasionaram efeito significativo sobre a área foliar aos 30 DAP e persistiram nas avaliações seguintes ajustando os dados ao modelo de regressão linear (Figura 6).

As plantas irrigadas com 0,25 RH apresentaram redução em área foliar de 80,70; 97,44 e 91,19%, quando comparadas com as plantas que receberam 1,00 RH aos 30, 60 e 90 DAP, respectivamente. A área foliar foi, portanto, a variável de crescimento mais afetada, reforçando a sensibilidade das cultivares à condição de estresse hídrico (baixos níveis de reposição de água). Rodrigues et al. (2009) também verificaram efeito

significativo para área foliar em plantas de mamoneira, causando grandes reduções na área foliar até 100 dias após sementeira, corroborando com os resultados desta pesquisa.



**Figura 6.** Área foliar (AF) em plantas de pinhão-mansão cultivadas em condições de lâminas de irrigação com água residuária, fertilizados com fósforo e avaliadas aos 30, 60 e 90 dias após a poda (DAP).

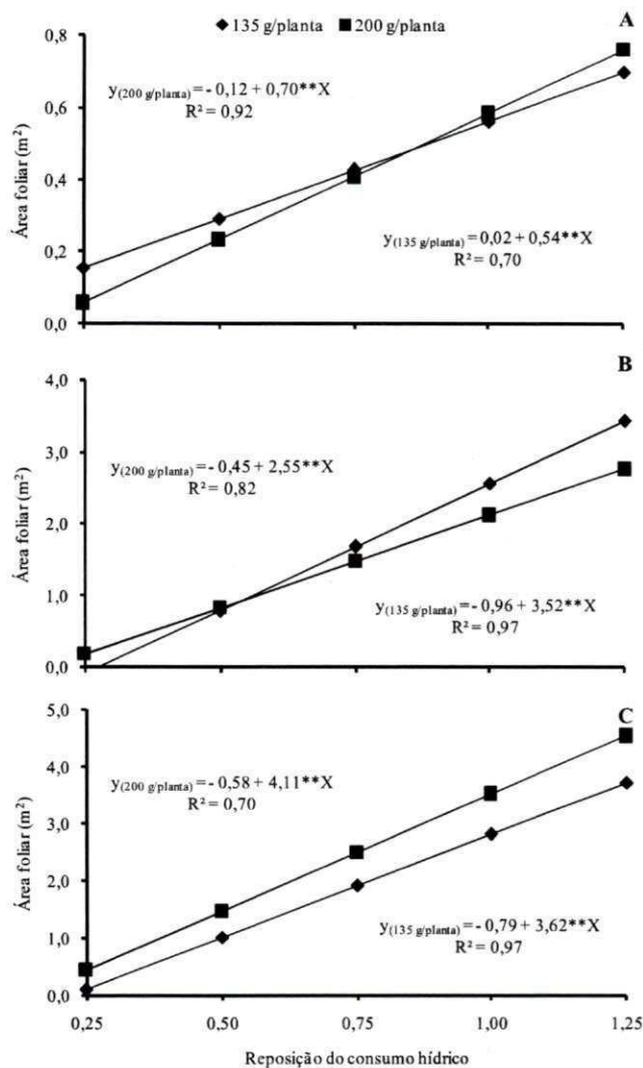
Explicando melhor estes fatos, Fageria (1989), afirma que em situação de estresse hídrico a grande maioria dos vegetais busca alternativas para diminuir o consumo de água e, principalmente a transpiração; entre as adaptações mais conhecidas, o autor cita a diminuição da área foliar reduzindo, em consequência, as perdas de água por transpiração.

Observou-se efeito significativo em área foliar de plantas submetidas às doses de fósforo aos 60 DAP, apresentando médias de 1,69 e 1,48 m<sup>2</sup> para DP<sub>1</sub> e DP<sub>2</sub>, respectivamente, o que demonstra que as plantas que receberam a menor dose (135 g planta<sup>-1</sup>) se desenvolveram mais; aos 90 DAP os valores obtidos foram 1,93 e 2,51 m<sup>2</sup> para DP<sub>1</sub> e DP<sub>2</sub>, respectivamente. Nesta avaliação ocorreu o inverso, isto é as plantas que se desenvolveram mais foram as que receberam a dose de 200 g de fósforo por planta.

Também se observa efeito significativo para interação dos fatores reposição do consumo hídrico e doses de fósforo (RH x DP) sobre o crescimento da área foliar aos 30, 60 e 90 dias após a poda (Figura 7).

Conforme a Figura 7A, aos 30 DAP as plantas que receberam as lâminas de 0,25; 0,50 e 0,75 RH e a dose de 135 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> obtiveram área foliar superior à das plantas que receberam 200 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e que, para as plantas que receberam as lâminas de 1,00 e 1,25 RH, os resultados foram opostos. Em relação à área foliar aos 60 DAP (Figura 7B) as plantas que receberam lâminas de 0,25 e 0,50 RH e 200g de fósforo foram superiores às que receberam 135 g de fósforo; no entanto, as plantas que

receberam lâminas de RH 0,75; 1,00 e 1,25 foram superiores quando adubadas com 135 g de fósforo.



**Figura 7.** Efeito de doses de fósforo em diferentes lâminas de reposição hídrica sobre a área foliar de plantas de pinhão-mansão aos 30 (A), 60 (B) e 90 (C) dias após a poda.

A maior área foliar encontrada entre as plantas que receberam 200 g de  $P_2O_5$  foi sob lâmina RH 1,25 com  $4,56\text{ m}^2$  (Figura 7C) e as que receberam 135 g foi a das plantas irrigadas com a mesma lâmina com média de  $3,74\text{ m}^2$ . Contudo, observa-se que no estágio inicial as áreas foliares foram próximas; apesar disto, com o desenvolvimento do pinhão-mansão a dose de 200 g de  $P_2O_5$  (DP<sub>2</sub>) foi 24% superior à dose 135 g de  $P_2O_5$  (DP<sub>1</sub>) quando irrigadas com a lâmina 1,00 RH aos 90 DAP.



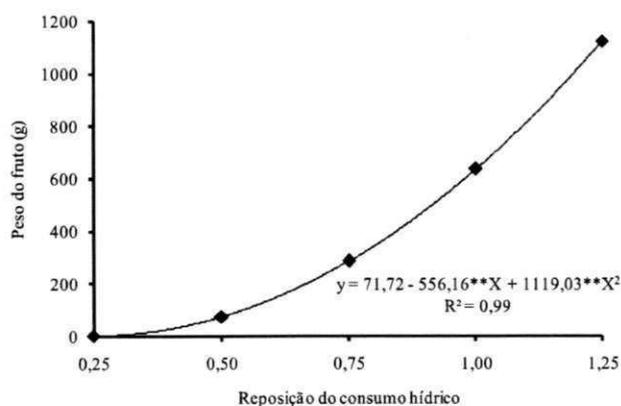
As variáveis peso de frutos e eficiência do uso da água do pinhão-mansão indicaram efeito significativo ( $p < 0,01$ ) nas lâminas de reposição hídrica do consumo hídrico (Tabela 8). Observa-se também que não houve efeito significativo para as doses de fósforo, isoladamente, e para a interação entre os fatores reposição hídrica e doses de fósforo no pinhão-mansão.

**Tabela 8.** Resumo da análise de variância para peso do fruto (PF) e eficiência do uso da água (E.U.A.) no pinhão-mansão cultivados em condições de lâminas de irrigação com água residuária e fertilizados com fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		PF	E.U.A.
Reposição hídrica (RH)	4	24734,70**	83225,90**
Reg. Linear	1	24437,74ns	328224,23**
Reg. Quadrático	1	11,41**	3167,00**
Desvio Regressão	2	2998,99ns	756,19ns
Dose de fósforo (DP)	1	23,13ns	2865,91ns
Interação (RH x DP)	4	331,23ns	1662,02ns
Bloco	3	4965,56ns	2291,12**
Resíduo	27	6004,32	676,58
CV (%)		19,22	9,24

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

O peso de frutos obtidos conforme equação da regressão 0,75; 1,00 e 1,25 RH foi de 284,05; 634,59 e 1.125,00 g, respectivamente (Figura 8).



**Figura 8.** Peso do fruto de pinhão-mansão em função da reposição do consumo hídrico de pinhão-mansão irrigados com água residuária.

Constatou-se decréscimo de 88,43 e 55,24% para 0,50 e 0,75 RH e acréscimo de 77,28% para 1,25 RH respectivamente, quando comparado com o da lâmina de 1,00 RH

aplicado no pinhão-manso. Referidos resultados corroboram com os alcançados por Silva et al. (2009d), que estudaram o efeito de níveis de reposição da evapotranspiração com água residuária na produção de frutos de pinhão-manso.

As doses de fósforo não influenciaram o peso dos frutos nem o resultado obtido condiz com os obtidos por Souza et al. (2009), que não constataram efeito significativo quando avaliaram os componentes de produção de plantas de mamoneira em função de doses de calcário e fósforo. Segundo Ferreira et al. (2005) águas de efluentes tratadas podem suprir a necessidade nutricional de culturas oleaginosas de ciclo curto, como o algodoeiro herbáceo, até a produção.

Observa-se que a eficiência do uso da água foi significativamente afetada pelos níveis de reposição hídrica, com incremento linear (Figura 9). O aumento da disponibilidade de água no solo ocasionou maior eficiência de uso da água pelas plantas de pinhão-manso, resultando em maior produção nos tratamentos com maior nível de reposição hídrica.

A eficiência de uso da água média nos tratamentos irrigados com água residuária, foi de  $0,60 \text{ kg m}^{-3}$ , resultado superior ao constatado em pesquisa semelhante, por Silva et al. (2009d), ao verificarem  $0,33 \text{ kg m}^{-3}$  em plantas de pinhão-manso, e por Rodrigues et al. (2009), que obtiveram  $0,34 \text{ kg m}^{-3}$  para mamoneira, espécie da mesma família do pinhão-manso. Barros Júnior et al. (2008) também observaram aumento linear da eficiência de uso da água em plantas de mamoneira, resultante do incremento da disponibilidade de água no solo.

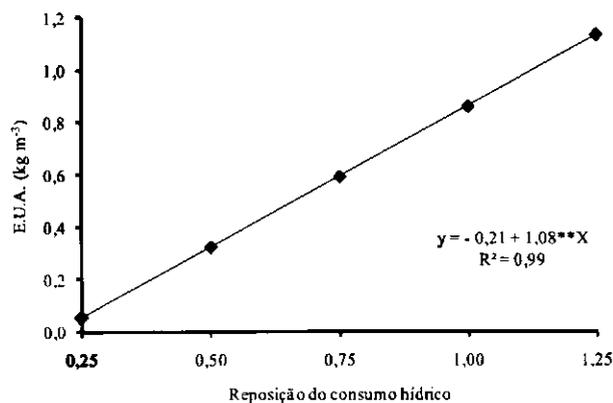


Figura 9. Eficiência do uso da água em função do consumo hídrico de pinhão-manso irrigados com água residuária.

Este resultado condiz com Oliveira et al. (2010a) que afirmaram que o pinhão-manso é resistente à seca e mesmo em condições críticas de disponibilidade hídrica no solo a espécie chega à produção.

#### **IV 1.4. Conclusões**

As lâminas de reposição hídrica do consumo influenciam as variáveis de crescimento do pinhão-mansão, a partir dos 30 dias após a poda;

As variáveis altura de planta e área foliar, são afetadas pela interação dos fatores (RH x DP) aos 30 e 30, 60, 90 dias após a poda, respectivamente.

O peso de frutos e a eficiência do uso da água são influenciados pelas lâminas de reposição hídrica do consumo do pinhão-mansão; no entanto, não são afetadas pelas doses de fósforo.

## IV.2. CRESCIMENTO E CONSUMO HÍDRICO DE PINHÃO-MANSO SOB ESTRESSE SALINO E DOSES DE FÓSFORO

**RESUMO:** A salinidade do solo reduz a absorção de água pelas plantas, conseqüentemente, seu crescimento e produção. Objetivando avaliar o crescimento do pinhão-manso em função da irrigação com água salina durante o terceiro ano de produção, conduziu-se um experimento em ambiente protegido adotando-se aleatorização em blocos e esquema fatorial 5x2, com cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup>) e duas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por ano (135 e 200 g planta<sup>-1</sup>) e quatro repetições. As plantas foram cultivadas em vaso com capacidade de 200 L irrigados a cada três dias. O aumento da CEa promoveu efeito significativo a partir dos 30 dias após a poda (DAP) causando reduções nas variáveis diâmetro de caule, número de folhas e área foliar. A área foliar e o número de folhas foram mais afetados, motivo pelo o qual são as que melhor expressam os efeitos da salinidade da água sobre o pinhão-manso. A salinidade da água de irrigação interferiu negativamente no acúmulo de matéria seca das folhas e no consumo médio de água do pinhão-manso reduzindo em cerca de 60% sob o tratamento de maior CEa em relação à menor. A área foliar foi a única variável de crescimento influenciada pelas doses de fósforo nas três avaliações e o número de folhas foi influenciado aos 30 DAP. A cultura do pinhão-manso demonstra sensibilidade aos níveis de salinidade da água acima de 1,6 dS m<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** *Jatropha Curcas* L. Condutividade elétrica. Índices fenológicos. Energia-fontes alternativas

## GROWTH AND WATER CONSUMPTION OF PHYSIC NUT UNDER SALT STRESS AND PHOSPHORUS LEVELS

**ABSTRACT:** Soil salinity reduces the water absorption by plants, consequently their growth and production. Aiming to evaluate the growth of the physic nut as a function of irrigation with saline water during the third year of growth, an experiment was conducted in a protected environment, adopting a randomized block with a 5x2 factorial design consisting of five levels of electrical conductivity of the water used for irrigation - EC<sub>w</sub> (0.6; 1.2; 1.8; 2.4 and 3.0 dS m<sup>-1</sup>) and two levels of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per year (135 and 200 g per plant) and four replications. Plants were cultivated in pots of 200 L and irrigated at intervals of three days. The increase of EC<sub>w</sub>, starting from the 30th day after pruning (DAP), caused significant reduction in the variables: stem diameter, leaf number and leaf area. The leaf area and number were most affected and therefore are the best indicators to express the effects of water salinity on the physic nut. The salinity of the irrigation water interferes negatively in dry-matter accumulation in the leaves, and the mean water consumption of the physic nut is reduced by about 60% when irrigated with water with the highest EC<sub>w</sub> in relation to the lowest. Leaf area was the only growth variable influenced by phosphorus levels in the three evaluations, where leaf number was influenced at 30 DAP. This physic nut crop demonstrates sensitivity at water salinity levels above 1.6 dS m<sup>-1</sup>.

**Key words:** *Jatropha curcas* L. Electrical conductivity. Phonological indices. Energy-Alternative sources

#### IV.2.1. Introdução

A região semiárida do Brasil é caracterizada por apresentar insuficiência hídrica e chuvas mal distribuídas. Uma das alternativas com vista ao aumento da produtividade das culturas nessa região é a irrigação, porém, a maior parte das águas utilizadas na irrigação contém teores relativamente moderados de sais, sendo frequentemente encontrados valores que chegam a  $5,0 \text{ dS m}^{-1}$  (GHEYI et al., 1991; CAVALCANTI et al., 2005b).

Além de reduzir o potencial hídrico do solo, altas concentrações de sais no solo, podem provocar efeitos tóxicos nas plantas, causando distúrbios funcionais e injúrias no metabolismo (SILVA et al., 2003). Os sais são transportados pelas águas de irrigação e depositados no solo, onde se acumulam à medida pra que a água se evapora ou é consumida pelas culturas. Os sais no solo e na água reduzem a disponibilidade da água para as plantas, a tal ponto que afetam o rendimento das culturas.

A redução no potencial hídrico dos tecidos causada pelo excesso de sais provoca restrição no crescimento uma vez que as taxas de alongação e de divisão celular dependem diretamente do processo de extensibilidade da parede celular, desta forma, o ajustamento osmótico é essencial para o crescimento dos vegetais em meio salino e qualquer falha neste ajustamento resultará em injúrias semelhantes às da seca, como a perda de turgescência e a redução no crescimento, resultando em plantas atrofiadas, desidratadas e em consequência levando à morte das células (ASHRAF & HARRIS, 2004).

A utilização de espécies tolerantes à salinidade e a adoção de práticas de manejo de cultivo, do solo e da água tem propiciado o uso de águas salinas na irrigação de culturas (RHOADES et al., 2000). Entretanto, as culturas não respondem de forma semelhante à salinidade e algumas conseguem produzir rendimentos economicamente viáveis em níveis elevados de salinidade do solo (AYERS & WESTCOT, 1999; CORREIA et al., 2009).

O pinhão-mansô (*Jatropha Curcas* L.) é uma espécie oleaginosa, de fácil propagação e que apresentar relevante importância social e econômica para o Brasil, especialmente como fonte de bicomustível (SILVA et al., 2009b). Sua utilização como matéria prima para a produção de bioenergia está embasada nas características agronômicas inerentes a espécie, tais como, alto potencial de produção de óleo, espécie de uso não alimentar e perenidade da cultura. (ARRUDA et al., 2004). Mencionadas características torna a oleaginosa uma alternativa de complemento de renda para a agricultura familiar (MARTINS et al., 2010).

Embora seja uma espécie adaptada à semiaridez, exigente em calor e luminosidade, a garantia de produção deverá ser maior com irrigação e para se obter um bom desenvolvimento e alta produtividade a planta exige solos férteis, com boas condições físicas e hídricas (LAVIOLA & DIAS, 2008; NERY et al., 2009).

Plantas oleaginosas são exigentes em fertilidade, apresentando drástica redução no crescimento quando submetidas a condições adversas. Entre as principais técnicas aplicadas para aumentar a produtividade e a rentabilidade, se destaca o suprimento nutricional, especialmente com o fósforo (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2009). O fósforo é elemento essencial ao crescimento, desenvolvimento e reprodução das plantas com importante papel no processo de formação de sementes (BENNETT, 1994; LÓPEZ-BUCIO et al., 2002).

Desta forma objetivou-se neste trabalho avaliar o crescimento, acúmulo de matéria seca e consumo de água na cultura do pinhão-manso sob condições de estresse salino, além de duas doses de fósforo durante o terceiro ano de produção.

#### IV.2.2. Material e Métodos

O estudo foi realizado em ambiente protegido pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande-PB com as seguintes coordenadas geográficas: 07°15'18'' latitude Sul, 35°52'28'' de longitude Oeste e altitude média de 550 m, o clima da região conforme a classificação climática de Köppen é do tipo Csa, que representa clima mesotérmico, subúmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno (COELHO & SONCIN, 1982).

Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados. Os tratamentos resultaram da combinação de dois fatores: salinidade da água de irrigação (CEa) com cinco níveis; 0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C e duas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por ano (135 e 200 g planta<sup>-1</sup>), em que o primeiro nível de condutividade elétrica e a dose de adubação são os tratamentos controle. As águas de irrigação foram preparadas a partir da adição à água de abastecimento dos sais NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O mantendo proporção equivalente 7:2:1, entre os cátions Na<sup>+</sup>: Ca<sup>++</sup>: Mg<sup>++</sup>, respectivamente, em esquema fatorial 5 x 2 com quatro repetições.

O experimento foi implantado em abril de 2007 em espaçamento de 1,6 x 1,7 m. Foram utilizados recipientes plásticos com capacidade de 200 L e uma planta por vaso. O material de solo utilizado foi classificado como Argissolo Acinzentado Eutrófico (SANTOS et al., 2006), textura franco-arenoso, não salino e não sódico retirado a uma camada de 0-30 cm proveniente do distrito de São José da Mata, Campina Grande-PB.

Nos dois primeiros anos do experimento foram seguidas as recomendações de adubação sugeridas por Novais et al. (1991) para ensaios conduzidos em ambientes protegidos. O solo foi adubado na fundação com 100; 300 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de solo de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente utilizando-se como fonte de nutrientes uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, concomitantemente e para o segundo ano seguiu-se a mesma recomendação para adubação de cobertura.

No início do terceiro ano foi realizada uma poda drástica, deixando-se todas as plantas com altura de 60 cm, posteriormente aplicaram-se ao solo 1 kg de húmus de minhoca em dose única com o objetivo de elevar o conteúdo de matéria orgânica. Na adubação mineral foram incorporados 80 g planta<sup>-1</sup> de N, 62 g planta<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e as duas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (135 e 200 g planta<sup>-1</sup>), conforme os tratamentos, esses valores fracionados igualmente e aplicada mensalmente durante 12 meses.

As irrigações foram realizadas ao final da tarde seguindo turno de rega de três dias e fixada uma fração de lixiviação de 0,15; como manejo para evitar maiores concentrações de sais no solo. Durante a condução do experimento foram realizados os seguintes tratos culturais: eliminação manual das plantas daninhas, escarificação superficial do solo a cada intervalo de duas irrigações e pulverizações realizadas uma vez por semana visando ao controle preventivo de insetos e doenças fungicas.

Avaliou-se o crescimento do pinhão-mansão aos 30; 60 e 90 dias após a poda (DAP), através da determinação de altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas, área foliar e ao final do ciclo (terceiro ano) foi aferido à matéria seca das folhas e consumo de água. A altura de planta foi definida considerando-se o galho principal e se mensurando do colo da planta ao ápice, o diâmetro de caule foi medido a 5 cm da superfície do solo e na contagem de número de folhas consideraram-se todas as folhas totalmente expandidas e com comprimento igual ou superior a 3 cm. A área foliar foi estimada com base em uma amostra de no mínimo 25% do número de folhas da planta utilizando-se a Equação 1, proposta por Severino et al. (2007).

$$AF = \sum 0,89 p^2 \quad \text{Eq. 2}$$

em que,

AF – área foliar (m<sup>2</sup>);

$\sum$  – somatório do comprimento da nervura central da folha;

$p$  – comprimento da nervura central da folha (m).

Obteve-se a matéria seca foliar a partir da coleta de todas as folhas de cada planta e sendo este material colocado em estufa para secar a uma temperatura de 60 °C por 72 horas. Após secagem todo o material foi pesado em balança analítica e então determinada sua massa seca foliar total. O consumo de água das plantas de pinhão-mansão foi obtido através do método do balanço hídrico (diferença entre volume aplicado e volume drenado) no período de 180 DAP.

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste F e nos casos de significância, realizou-se análise de regressão polinomial linear e quadrática. O software estatístico utilizado foi SISVAR-ESAL (FERREIRA, 2003).



### IV.2.3. Resultados e Discussão

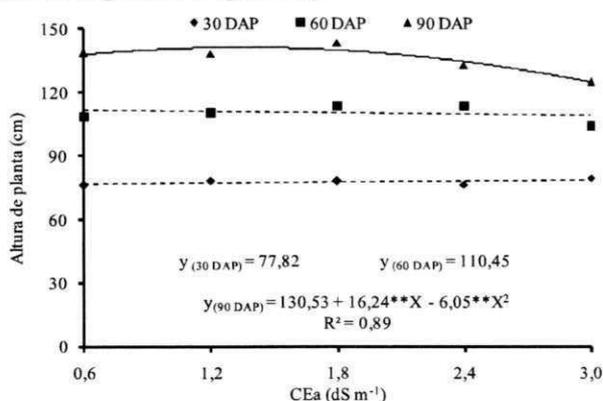
Observa-se na Tabela 9, a ocorrência de efeito significativo da condutividade elétrica da água de irrigação para as variáveis, altura de planta e diâmetro de caule das plantas de pinhão-manso. O estudo de regressão para altura de planta (Figura 10) apresentou efeito quadrático aos 90 dias DAP, sendo o menor valor 124,09 cm obtido no tratamento com condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) de 3,0 dS m<sup>-1</sup>.

**Tabela 9.** Resumo da análise de variância para altura de planta (AP) e diâmetro de caule (DC) aos 30, 60 e 90 dias após poda (DAP) de pinhão-manso sob condições de estresse salino e doses de fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		AP			DC		
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP
Nível Salino (NS)	4	14,91ns	123,41ns	398,48**	87,42**	109,15**	164,30**
Reg. Linear	1	19,60ns	22,05ns	884,45**	326,43**	409,51**	560,21**
Reg. Quadrático	1	0,41ns	378,89ns	531,57**	21,09ns	0,28ns	88,04**
Desvio Regressão	2	19,81ns	46,35ns	88,93ns	1,09ns	13,40ns	4,48ns
Dose de fósforo (DP)	1	165,24ns	52,90ns	129,60ns	49,50ns	2,86ns	2,86ns
Interação (NS x DP)	4	5,94ns	25,09ns	9,73ns	16,23ns	10,73ns	10,56ns
Bloco	3	36,00ns	77,90ns	67,13ns	8,85ns	16,90ns	51,64ns
Resíduo	27	43,05	111,83	66,54	24,75	17,42	15,73
CV (%)		8,43	9,57	6,01	6,70	5,47	5,21

\*\* Significativo (p < 0,01), \* Significativo (p < 0,05) e ns Não significativo (p > 0,05) pelo teste F

Aos 90 DAP observou-se aumento de altura de planta de 2,32 e 1,50% nos níveis de 1,2 e 1,8 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente em relação ao nível de 0,6 dS m<sup>-1</sup>. Contudo, no nível 3,0 dS m<sup>-1</sup>, esta variável decresceu 9,63% em relação ao nível 0,6 dS m<sup>-1</sup> conforme a equação de regressão (Figura 10).



**Figura 10.** Altura de planta (AP) de pinhão-manso sob condições de estresse salino aos 30, 60 e 90 dias após a poda (DAP)

Cavalcanti et al. (2005b) observaram, em estudo sobre o comportamento da mamona irrigada com águas de condutividade elétrica variando entre 0,7 e 4,7 dS m<sup>-1</sup>, uma redução de 5,85% por aumento unitário da CEa na altura da planta para a cultivar BRS Nordestina. É comum haver diferenças dos efeitos salinos nas espécies vegetais, entre genótipos de uma mesma espécie e estádios de desenvolvimento de um mesmo genótipo (TAIZ & ZEIGER, 2004). Para Ayers & Westcot (1999), a redução do potencial osmótico do substrato atua de forma negativa sobre os processos fisiológicos, reduzindo a absorção de água pelas raízes, inibindo a atividade meristemática e o alongamento celular, advindo, como consequência, a redução no crescimento das culturas.

Verifica-se com base nos resultados da análise de variância (Tabela 9), não haver efeito significativo das doses de fósforo (DP) nem da interação (NS x DP) sobre a variável altura de planta nos três períodos em avaliação. Denota-se que possivelmente este fato tenha ocorrido devido à maior exigência na fase inicial de crescimento após a poda e a pouca mobilidade do fósforo no solo. No entanto, Costa et al. (2009) encontraram diferença significativa entre as doses de fósforo (0; 50; 100; 150 e 200 g planta<sup>-1</sup>) em pinhão-manso a partir dos 60 dias após o transplantio. Ressalta-se que o resultado obtido por Costa et al. (2009) foi no primeiro ano de cultivo e o observado neste trabalho foi no terceiro ano.

Ainda conforme dados da Tabela 9, o diâmetro de caule nas avaliações realizadas aos 30, 60 e 90 DAP, foi significativamente reduzido pela salinidade da água e os dados se ajustaram melhor ao modelo linear (Figura 11).

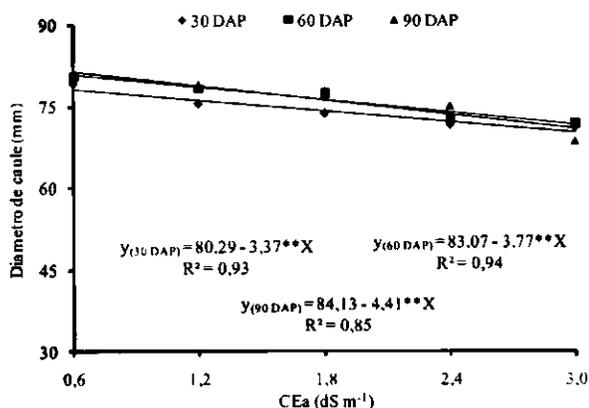


Figura 11. Diâmetro caulinar (DC) de plantas de pinhão-manso sob condições de estresse salino aos 30, 60 e 90 dias após a poda (DAP)

Nesses períodos foram observadas reduções no diâmetro do caule a partir do nível 0,6 dS m<sup>-1</sup> de 4,20; 4,54 e 5,24%, respectivamente, por aumento unitário da condutividade elétrica da água de irrigação. Utilizando a equação de regressão, observou-se que aos 30, 60 e 90 DAP, os valores para o diâmetro do caule foram de 70,19; 71,76 e 70,90 mm, respectivamente, quando irrigados com água de maior nível de condutividade elétrica.

Este resultado concorda com Silva et al. (2009d) que registram decréscimo significativo ao nível de 1% de probabilidade no diâmetro caulinar das plantas de pinhão-mansinho durante o período de 144 a 312 dias após transplantio em estudo com estresse salino.

Verifica-se, ainda na Tabela 9, não haver influência das doses de fósforo e nem para interação para variável diâmetro de caule nos três períodos avaliados. Este resultado discorda com os dados obtidos por Martins et al. (2010), que encontraram diferença estatística estudando cinco doses de fósforo (5,74; 11,48; 17,22; 22,96 e 28,70 g planta<sup>-1</sup>) em pinhão-mansinho, sendo o maior diâmetro caulinar constatado na dose 22,96 g planta<sup>-1</sup>.

Na Tabela 10 observa-se que o número de folhas foi significativamente influenciado pela salinidade da água de irrigação aos 60 e 90 DAP e pelas doses de fósforo aos 30 DAP.

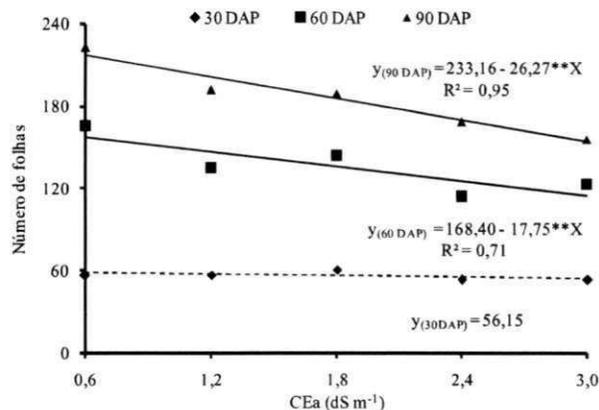
**Tabela 10.** Resumo da análise de variância para número de folhas (NF) e área foliar (AF) aos 30, 60 e 90 dias após poda (DAP) de pinhão-mansinho sob condições de estresse salino e doses de fósforo

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		NF			AF		
		30 DAP	60 DAP	90 DAP	30 DAP	60 DAP	90 DAP
Nível Salino (NS)	4	81,34ns	3201,48**	5258,44**	0,08**	3,48**	1,73**
Reg. Linear	1	88,20ns	9073,80**	19876,51**	0,01ns	12,00**	3,31**
Reg. Quadrático	1	72,32ns	902,89ns	192,94ns	0,29**	0,61**	3,31**
Desvio Regressão	2	82,41ns	1414,60**	482,15ns	0,01ns	0,65**	0,003ns
Dose de fósforo (DP)	1	372,10*	176,40ns	555,03ns	0,61**	2,57**	1,97**
Interação (NS x DP)	4	8,54ns	478,53ns	57,46ns	0,05**	1,03**	0,84**
Bloco	3	364,57ns	309,50ns	430,83ns	0,02**	0,10ns	0,13ns
Resíduo	27	61,62	293,89	270,34	0,004	0,08	0,09
CV (%)		13,98	12,56	8,85	14,62	12,96	10,27

\*\* Significativo (p < 0,01), \* Significativo (p < 0,05) e ns Não significativo (p > 0,05) pelo teste F

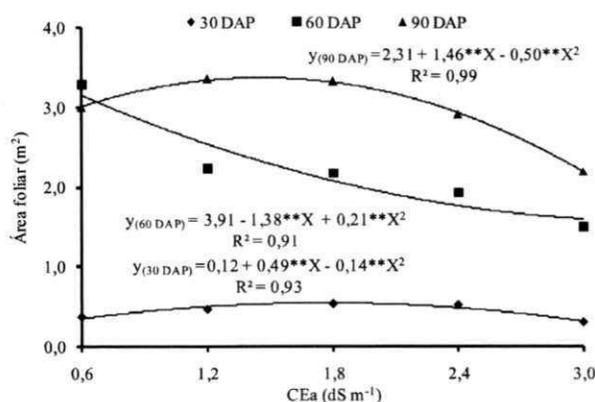
De acordo com as equações de regressão, os menores valores de número de folhas foram 121 e 154 folhas obtidos com 3,0 dS m<sup>-1</sup> aos 60 e 90 DAP, respectivamente. Verifica-se na Figura 12 decréscimo de 10,54 e 11,26% para o número de folhas por aumento unitário da CEa de irrigação. Comparando os níveis de 3,0 com

0,6 dS m<sup>-1</sup>, verificam-se decréscimos equivalentes de 26 e 29% aos 60 e 90 DAP, respectivamente. Conforme Fageria (1989) decréscimos no número de folhas quando as plantas são cultivadas sob estresse salino, ocorrem como forma de adaptação, no sentido de minimizar as perdas de água por transpiração.



**Figura 12.** Número de folhas (NF) em plantas de pinhão-mansinho sob condições de estresse salino aos 30, 60 e 90 dias após a poda (DAP).

Observa-se na Tabela 10, efeito significativo da dose de fósforo aos 30 DAP, em que as médias de número de folhas obtidas foram 59,2 e 53,1 para as doses de 135 e 200 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Martins et al. (2010), verificaram, realizando um trabalho com mamona e pinhão-mansinho, com a finalidade de constatar a influência de doses de fósforo no crescimento que as adubações fosfatada não influenciaram o número de folhas.



**Figura 13.** Área foliar (AF) em plantas de pinhão-mansinho sob condições de estresse salino aos 30, 60, 90 dias após a poda (DAP)

Conforme consta na Tabela 10, a área foliar nas três épocas de avaliação foi significativamente influenciada pela salinidade da água de irrigação e se ajustaram

melhor ao modelo de regressão quadrática (Figura 13) e os menores valores encontrados três épocas foram 0,31, 1,61 e 2,19 m<sup>2</sup> quando irrigados com CEa de 3,0 dS m<sup>-1</sup>.

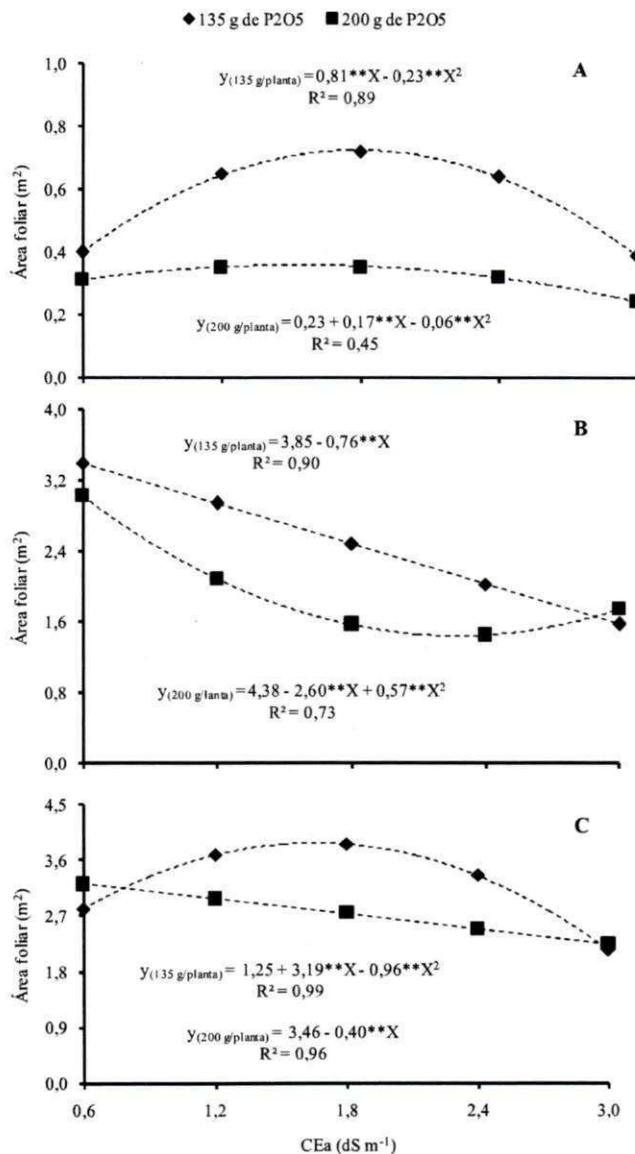
Comparando os níveis de 3,0 com 0,6 dS m<sup>-1</sup>, verificaram-se decréscimos segundo a equação de regressão de 14, 49 e 27% aos 30, 60 e 90 DAP, respectivamente. Observa-se ainda na Figura 12, um acréscimo na área foliar de 43% até a CEa 1,8 dS m<sup>-1</sup> aos 30 DAP e de 11% até CEa 1,6 dS m<sup>-1</sup> aos 90 DAP.

O número de folhas depende da formação e do desenvolvimento de primórdios foliares, enquanto a área foliar é função da expansão celular. Assim, os resultados sugerem que a expansão foliar foi mais sensível ao estresse salino nos três períodos de avaliação que o desenvolvimento dos primórdios, pois se observou efeito significativo a partir dos 30 DAP. O estresse salino pode afetar o crescimento celular e a expansão das folhas, através da redução na pressão de turgescência como na extensibilidade da parede celular (PRISCO, 1980). Cavalcanti et al. (2005a), verificaram em plantas de mamona, redução de 6,55% por aumento unitário da CEa na área foliar.

Na Tabela 8, observa-se efeito significativo em área foliar submetida às doses de fósforo aos 30 DAP apresentando médias de 0,56 e 0,31 m<sup>2</sup>, aos 60 DAP 2,49 e 1,99 m<sup>2</sup> e aos 90 DAP 28,91 e 30,35 m<sup>2</sup> para as plantas que receberam 135 e 200 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente. Este resultado corrobora com Costa et al. (2009) que também obtiveram efeito isolado significativo de doses de fósforo em pinhão-mansão no primeiro ano de cultivo. No entanto, Souza et al. (2009) e Martins et al. (2010) não obtiveram estudando doses de fósforo em mamona e pinhão-mansão, respectivamente, resultados significativos isolados.

Também é constatado efeito significativo sob a interação dos fatores (NS x DP) em relação ao crescimento da área foliar aos 30, 60 e 90 dias após a poda (Figura 14). Observa-se na Figura 14 A e B, aos 30 e 60 DAP que as plantas que receberam a menor dose de fósforo foram as que mais se desenvolveram, obtendo área foliar superior à das plantas de pinhão-mansão que receberam 200 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na adubação; aos 90 DAP (Figura 14C) as plantas que eram irrigadas com água de 0,6; 3,0 dS m<sup>-1</sup> e dose de 200 g de fósforo obtiveram crescimento superior ao das plantas de pinhão-mansão que

receberam a dose de 135 g de fósforo; nos demais tratamentos de nível salino a dose de 135 g de fósforo refletiu nas plantas de maior desenvolvimento.



UFPA - BIBLIOTECA

**Figura 14.** Efeito de doses de fósforo em função dos diferentes níveis de salinidade da água de irrigação na área foliar média de plantas de pinhão-mansão no terceiro ano aos 30 (A), 60 (B) e 90 (C) dias após a poda (DAP)

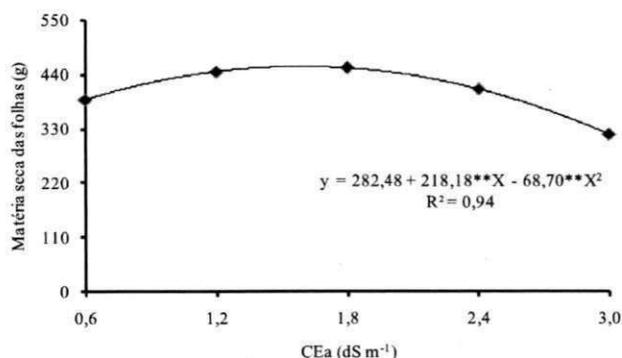
Segundo a análise de variância (Tabela 11) a matéria seca das folhas e o consumo de água das plantas de pinhão-mansão foram significativamente influenciados pela salinidade da água de irrigação, entretanto, não foram influenciados pela doses de fósforo.

**Tabela 11.** Resumo da análise de variância para matéria seca das folhas (MSF) e consumo de água (CA) de pinhão-manso sob condições de estresse salino e doses de fósforo aos 180 DAP

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		MSF	CA
Nível Salino (NS)	4	24734,70**	83225,90**
Reg. Linear	1	24437,74ns	328224,23**
Reg. Quadrático	1	11,41**	3167,00**
Desvio Regressão	2	2998,99ns	756,19ns
Dose de fósforo (DP)	1	23,13ns	2865,91ns
Interação (NS x DP)	4	331,23ns	1662,02ns
Bloco	3	4965,56ns	2291,12**
Resíduo	27	6004,32	676,58
CV (%)		19,22	9,24

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

Observa-se que o acúmulo de matéria seca das folhas segundo a equação foi crescente até o nível de salinidade de  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$  com o acúmulo de  $455,71 \text{ g}$  que se refere a 17% de acréscimo (Figura 15).



**Figura 15.** Matéria seca média de folhas (MSF) das plantas de pinhão-manso sob condições de estresse salino ao final do ciclo (180 DAP)

A partir da condutividade elétrica de  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$  a matéria seca da folha decresceu 30% com o aumento da salinidade da água de irrigação quando comparado a CEa de  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ . Verificou-se também que a diferença percentual entre o menor e o maior nível de salinidade da água de irrigação foi de aproximadamente 18% podendo-se inferir que o aumento da salinidade da água de irrigação tem interferência direta no acúmulo de

matéria seca das folhas. Silva et al. (2005) obtiveram pesquisando o desenvolvimento de duas cultivares de mamona sob estresse salino decréscimo de 9,9% para cada aumento unitário da salinidade da água de irrigação, no entanto o efeito foi linear.

O fósforo mesmo sendo um elemento de fundamental importância para as culturas e apesar da variação das doses (135 a 200 g de  $P_2O_5$  vaso<sup>-1</sup>) fornecida às plantas, não foi constatada ocorrência de efeito significativo conforme Tabela 11 para matéria seca das folhas e consumo de água. Entretanto, Almeida Júnior et al. (2009), verificaram estudando o efeito da adubação fosfatada (0, 3, 6, 9, 13 e 15 g planta<sup>-1</sup>) sobre o crescimento inicial da mamoneira resposta significativa à adubação fosfatada em todas as características avaliadas, inclusive matéria seca total adequando-se ao modelo quadrático e o melhor resultado foi encontrado com a dose de 8 g planta<sup>-1</sup> de fósforo.

Conforme se observa na Figura 16 o consumo de água durante os 180 DAP adequou-se ao modelo linear decrescente, em que segundo o modelo de regressão, o consumo de água com o aumento da salinidade da água de irrigação, apresentou diminuição de 22,5% por aumento unitário da condutividade elétrica da água.

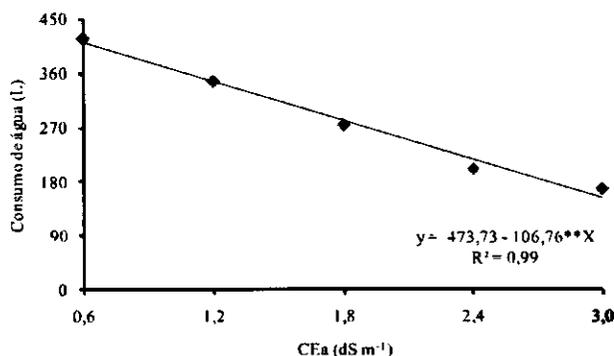


Figura 16. Consumo médio de água de plantas de pinhão-mansão sob condições de estresse salino durante 180 DAP.

O consumo médio hídrico do pinhão-mansão por evento de irrigação durante o período de seis meses em estudo foi 8,01; 6,67; 5,26; 3,87 e 3,23 L planta<sup>-1</sup> para 0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. Este resultado evidencia que o aumento da salinidade causa decréscimo do consumo de água pelas plantas, sendo uma das causas a redução do potencial osmótico condicionada a um desenvolvimento inferior, principalmente na área foliar.

Nery et al. (2009) notaram pesquisando cinco níveis de salinidade da água em pinhão-mansão no segundo ano, em avaliações a cada 21 dias, decréscimo de 59,45% no

consumo de água do nível 0,6 a 3,0 dS m<sup>-1</sup>, valor semelhante ao encontrado neste trabalho, que foi de 59,49% nas mesmas condições de pesquisa.

#### **IV.2.4. Conclusões**

O diâmetro de caule, o número de folhas e o consumo de água são afetados linear e negativamente pela salinidade da água de irrigação;

A área foliar é a única variável de crescimento influenciada pela doses de fósforo nas três avaliações e o número de folhas foi influenciado apenas aos 30 DAP;

A partir de  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$  a salinidade da água de irrigação interfere negativamente no acúmulo de matéria seca das folhas de pinhão-mansão;

O consumo médio de água do pinhão-mansão diminuiu 22,5% por aumento unitário da salinidade da água de irrigação, durante 180 dias;

O pinhão-mansão demonstra sensibilidade a salinidade da água de irrigação com condutividade elétrica superior a  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ .

### IV.3. TROCAS GASOSAS E TEOR DE NUTRIENTES EM FOLHAS DE PINHÃO-MANSO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA E DOSES DE FÓSFORO

**RESUMO:** Com o objetivo de avaliar trocas gasosas e teores de minerais em plantas de pinhão-manso irrigadas com água residuária de origem doméstica conduziu-se um ensaio em ambiente protegido adotando-se um delineamento em blocos casualizados em um fatorial com cinco níveis de reposição hídrica (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 do consumo de água pela planta) e duas doses de  $P_2O_5$  (135 e 200 g planta<sup>-1</sup>) por ano com quatro repetições. Obtiveram-se os dados de trocas gasosas foliares utilizando-se medidor portátil de fotossíntese (IRGA). Para determinar o teor de nutrientes da planta, utilizou-se o limbo foliar localizado entre a quarta e quinta folha abaixo da inflorescência. A redução da reposição hídrica provocou diminuição na taxa de assimilação de carbono, limitando a capacidade produtiva das plantas de pinhão-manso. O incremento na reposição hídrica com água residuária proporcionou incremento nas trocas gasosas foliares, notadamente na taxa de assimilação de carbono. Verificou-se que o acúmulo dos elementos segue a sequência: N > K > Ca > Na > Cl > Mg > P > S > Fe > Mn > Zn > Cu, respectivamente, e com o aumento da reposição hídrica, o fósforo, o zinco e o cobre aumentaram suas concentrações no limbo foliar. As doses de  $P_2O_5$  aplicadas não influenciaram os teores de nenhum dos elementos estudados.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L. Nutrição vegetal. Características fotossintéticas. Adubação fosfatada, Reúso

## **GAS EXCHANGE AND NUTRIENT CONTENT IN LEAVES OF PHYSIC NUT IRRIGATED WITH WASTEWATER AND DOSES OF PHOSPHORUS**

**ABSTRACT:** With the objective of evaluating leaf gas exchange and nutrient concentration in plants of physic nut irrigated with wastewater of domestic origin an experiment was conducted in protected ambient adopting randomized block in factorial layout, to study the effects of five levels of water replacement – WR (0.25; 0.50; 0.75; 1.00 and 1.25 times of water consumed by the plant), and two levels of phosphorus (135 and 200 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> plant<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) with four repetitions. The data of leaf gas exchange were obtained using a portable photosynthesis meter (IRGA). To determine the nutrient content of the plant, fourth and fifth leaves below the inflorescence was used. The reduction in water supply provoked reduction in the rate of carbon assimilation, limiting the production capacity of the physic nut plants. The increase in level of wastewater replacement resulted increase in leaf gas exchange, notably in the rate of carbon assimilation. The accumulation of the nutrient follows the sequence: N > K > Ca > Na > Cl > Mg > P > S > Fe > Mn > Zn > Cu, and with the increase of water supply the leaf contents of phosphorus, zinc and copper increased. The doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> did not influence the contents of studied elements.

**Key words:** *Jatropha curcas* L. Mineral nutrition. Photosynthetic characteristics. Phosphate fertilizer. Reuse

### **IV.3.1. Introdução**

Em zonas semiáridas a irrigação é responsável pelo consumo de 50 a 85% dos recursos hídricos disponíveis (CAPRA & SCICOLONE, 2007). Procurar métodos mais eficientes de irrigação e fontes alternativas de recursos hídricos, como a utilização de águas residuárias, para diminuir a competição por água é tendência mundial. O reúso de águas para a irrigação é uma prática amplamente estudada e recomendada por diversos pesquisadores como alternativa viável para suprir as necessidades hídricas e, em grande parte, nutricionais das plantas (CAPRA & SCICOLONE, 2007; HERPIN et al., 2007). Além de recuperar o efluente, reduzir a poluição ambiental e promover a formação de húmus (WHO, 1989), o reúso de água pode viabilizar a atividade agrícola, bem como a sustentabilidade humana em áreas de difícil sobrevivência (REBOUÇAS et al., 2010).

Em geral, as águas coletadas de esgotos sanitários contêm, em grande parte, os nutrientes necessários para o crescimento de plantas, sendo os de maior interesse agrônomico o fósforo, o nitrogênio, o potássio, o zinco, o boro e o enxofre, cujos teores, nessas águas, geralmente atendem se não a toda, mas pelo menos a uma boa parte das carências nutricionais das plantas (AZEVEDO et al., 2007). Porém, estudos revelam que os teores de fósforo em águas coletadas de esgotos em geral não atendem às necessidades das plantas exigindo, portanto, uma complementação. Por outro lado, um excesso eventual deste elemento na água de irrigação não traz qualquer prejuízo às plantas (BLUM, 2003). De acordo com Johns & Mcconchie (1994), tem-se observado, na literatura, aumentos nos teores deste elemento em solos irrigados com efluente de esgoto, em sistemas agrícolas, no entanto, esses aumentos não parecem excessivos.

Segundo van der Hoek et al. (2002), as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária para fins agrícolas residem na conservação da água disponível e na possibilidade de aporte e reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos), concorrendo para a preservação do meio ambiente. Ferreira et al. (2005) verificaram que a água residuária tratada contribuiu para o incremento da produção e melhoria da qualidade das fibras do algodão, devido provavelmente ao potencial nutricional dos efluentes. Outros trabalhos também indicaram a importância do efluente tratado como alternativa para reúso, atuando positivamente na nutrição de várias espécies como pimentão (SOUSA et al., 2006), mudas de flamboyant (LUCENA et al., 2007), gérberas (MEDEIROS et al., 2007), girassol (NOBRE et al., 2009; SOUZA et al., 2010) e feijão-caupi (REBOUÇAS et al., 2010).

A recomendação de adubação de uma cultura depende das demandas nutricionais das plantas para o crescimento vegetativo e reprodutivo (LAVIOLA et al., 2007). Neste sentido, tanto a composição química quanto o acúmulo de nutrientes em folhas são informações imprescindíveis para conhecer as exigências nutricionais de uma cultura.

Em se tratando de uma espécie agrícola, deve-se lembrar que o comportamento vegetativo das plantas cultivadas é altamente dependente de fatores climáticos, como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar (LARCHER, 2004). A interação existente entre a fotossíntese, crescimento e o desenvolvimento das plantas e as variações climáticas sazonais numa determinada região tornam a produtividade das culturas altamente dependente dessas variações (LEMOS-FILHO, 2000). Entre os eventos fisiológicos mais afetados pelas condições ambientais está a fotossíntese, a qual tem recebido atenção especial nos estudos que visam à seleção de espécies e/ou variedades adaptadas a ambientes adversos, por ser a fonte primária de carbono orgânico e de energia para o crescimento e a produção de biomassa das plantas (DENG et al., 2003; SANTOS, 2008).

Uma alternativa de cultivo com água de reúso são as oleaginosas, por não serem consumidas in natura e devido à sua importância bioenergética, além de incentivos governamentais que recomendam algumas plantas para a produção de biodiesel. Por conta deste interesse, diversos estudos foram realizados relacionando o comportamento fisiológico de plantas de diferentes espécies oleaginosas a exemplo da mamona, do amendoim e do pinhão-manso, buscando compreender, sobretudo, a capacidade fotossintética, condutância estomática, e potencial hídrico em condições ambientais controladas e sob condições naturais (NOGUEIRA & SANTOS, 2000; BELTRÃO et al., 2003; ERISMANN et al., 2006; MACEDO et al., 2011). Por outro lado, pouco se sabe sobre a fisiologia do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Estudos com essa oleaginosa se justificam em face de seu alto potencial produtivo e por estar sendo apontada como uma importante alternativa para fornecimento de óleo visando à fabricação de biodiesel no Brasil, notadamente na região semiárida (BELTRÃO, 2005; MACEDO et al., 2011).

Levando em consideração o aproveitamento dos adubos aplicados e a fração de nutrientes suprida pela irrigação o presente trabalho teve como objetivo avaliar as trocas gasosas e quantificar os teores dos nutrientes em folhas de pinhão-manso cultivadas com diferentes lâminas de reposição hídrica utilizando-se efluentes de origem doméstica e duas doses de fósforo.

### IV.3.2. Material e Métodos

O estudo foi realizado em ambiente protegido pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB com as seguintes coordenadas geográficas: 07°15'18'' de latitude Sul, 35°52'28'' de longitude Oeste e altitude média de 550 m. O clima da região é do tipo Csa, que representa clima mesotérmico, subúmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno conforme a classificação climática de Köppen, adaptada ao Brasil (COELHO & SONCIN, 1982).

Adotou-se o delineamento em blocos casualizados e os tratamentos foram dispostos em um fatorial 5 x 2, cujo o primeiro fator foi a reposição do consumo hídrico planta com água residuária (25, 50, 75, 100 e 125%) e o segundo fator as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (135 e 200 g planta<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) com quatro repetições. Os tratamentos de referência foram a lâmina de irrigação de 100% e a dose de 135 g por planta (TOMINAGA et al., 2007). A água residuária foi proveniente do riacho Bodocongó, que serve de córrego para efluente doméstico a céu aberto e apresentou em média pH, 7,5; CE, 1,3 dS m<sup>-1</sup>; P, K, N total, Ca e Mg, respectivamente, 6,7; 31,8; 59,7; 42,9 e 41,2 mg L<sup>-1</sup>, após tratada em um reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

O ensaio foi iniciado em abril de 2007 em espaçamento de 1,6 x 1,7 m. Utilizaram-se recipientes plásticos com capacidade de 200 L e uma planta por vaso. O solo foi classificado como Argissolo Acinzentado Eutrófico (SANTOS et al., 2006), textura franco-arenoso, não salino e não sódico retirado a uma camada de 0 - 30 cm proveniente do distrito de São José da Mata em Campina Grande-PB.

Ressalta-se que o presente trabalho é continuação de experimentos anteriores realizados durante dois anos. Neste período de experimento foram obedecidas as recomendações de adubação sugeridas por Novais et al. (1991) para ensaios conduzidos em ambientes protegidos. O solo foi adubado na fundação com 100; 300 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de solo de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, utilizando-se como fonte de nutrientes uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, e para o segundo ano seguiu-se a mesma recomendação para adubação de cobertura.

No início do terceiro ano de produção foi realizada uma poda drástica, deixando todas as plantas com altura de 60 cm. Na adubação mineral foram incorporados 80 g de N, 62 g de K<sub>2</sub>O e as duas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (135 e 200 g). Os fertilizantes foram fracionados e aplicados mensalmente durante 12 meses utilizando-se as mesmas fontes de minerais.

As irrigações foram realizadas no final da tarde seguindo-se turno de rega de três dias, calculando-se o volume de água a ser aplicado para a lâmina de reposição hídrica de 100% em base de balanço hídrico (volume aplicado – volume drenado) na irrigação anterior acrescido de uma fração de lixiviação de 0,05 para garantir a drenagem de uma fração de água e confirmação de que o solo atingiu a capacidade de campo neste tratamento. Durante a condução do experimento foram realizados os seguintes tratamentos culturais: eliminação manual das plantas daninhas, escarificação superficial do solo a cada duas irrigações e as pulverizações efetuadas uma vez por semana com produtos indicados para controle preventivo de doenças e pragas.

Visando-se a obtenção dos dados de condutância estomática, transpiração, fotossíntese e temperatura foliar, utilizou-se um medidor portátil de trocas gasosas (IRGA, mod. LCI System ADC, Hoddesdon, UK), na quarta folha expandida a partir do ápice da planta; no entanto, esta prática só foi realizada nas plantas de pinhão-mansão que receberam a menor dose de fósforo (DP<sub>1</sub>: 135 g), visto que, se observou em análise preliminar não haver diferença nas leituras de trocas gasosas entre as duas doses (DP<sub>1</sub> e DP<sub>2</sub>) de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As medições foram realizadas sob luz saturante, utilizando-se uma fonte artificial de radiação, e sob condições ambientais de temperatura e concentração de CO<sub>2</sub>. As leituras foram realizadas no período da inflorescência, o que corresponde à maior concentração de nutrientes na planta e maior atividade fotossintética.

Para a quantificação dos teores dos macro e micronutrientes e de sódio utilizou-se o limbo foliar e se selecionaram folhas maduras, sadias e sem ataque de praga e doenças, localizadas entre a quarta e a quinta folha abaixo da inflorescência. O material vegetal amostrado foi lavado com água destilada e secado em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C, até peso constante; após a secagem, as amostras foram pesadas, moídas e submetidas às análises químicas segundo metodologias recomendadas por Silva (1999).

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste F em nível de 0,05 de probabilidade e nos casos de significância, realizou-se análise de regressão polinomial linear e quadrática através do software estatístico SISVAR-ESAL (FERREIRA, 2003).

### IV.3.3. Resultados e Discussão

Aos resultados não houve efeito significativo das lâminas de reposição do consumo hídrico com água residuária para condutância estomática, taxa de transpiração e temperatura foliar, em folhas do pinhão-mansão (Tabela 12); porém, para a taxa de fotossíntese, constatou-se efeito significativo.

**Tabela 12.** Resumo da análise de variância para condutância estomática, taxa de transpiração, taxa de fotossíntese e temperatura foliar em pinhão-mansão cultivado com água residuária em diferentes reposições hídricas durante o terceiro ciclo de produção no período da floração

Causa de Variação		Quadrados Médios			
		gs	E	A	TF
Reposição Hídrica (RH)	4	0,003ns	0,48 ns	115,59**	0,46ns
Bloco	3	0,0003ns	0,51 ns	2,40ns	1,55ns
Resíduo	12	0,0003	0,33	2,71	0,35
CV (%)		83,77	74,03	14,79	1,75

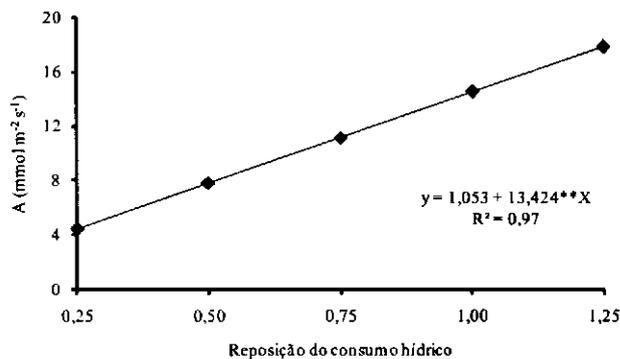
\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

A condutância estomática aferidas nas folhas de pinhão-mansão variou de 0,035 a 0,060  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectivamente, entre os tratamentos extremos de RH, porém as diferenças não foram estatisticamente significativas. Para Atteya (2003) as reduções na condutância estomática em plantas submetidas a estresse hídrico estão associadas ao declínio no potencial hídrico e conteúdo relativo d'água na folha. Os valores de condutância estomática obtidos no presente estudo são considerados baixos, se comparados aos relatados por outros autores, o que pode ser justificado, pelo menos em parte, pelo acúmulo de sais no solo provocado pela aplicação de água residuária que apresentava condutividade elétrica de 1,39  $\text{dS m}^{-1}$ , inclusive nos dois primeiros anos de cultivo que antecederam o presente estudo. Este fato corrobora com Sousa et al. (2011) ao afirmarem que o pinhão-mansão demonstra sensibilidade a salinidade da água de irrigação com condutividade elétrica superior a 1,6  $\text{dS m}^{-1}$ .

A taxa de transpiração variou entre os tratamentos 0,50 e 0,73  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De modo geral os dados de taxa de transpiração obtidos no presente estudo são bem inferiores aos encontrados por Santos (2008), que estudando trocas gasosas em pinhão-mansão cultivado sob condições de sequeiro obteve na estação chuvosa e seca transpiração de 1 e 4  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente. Os baixos valores são condizentes com os baixos valores de condutância estomática, conforme discutido no parágrafo anterior.



As taxas de fotossíntese foram afetadas significativamente (Figura 17) pelas lâminas de irrigação e os valores obtidos variaram de 4,41 a 17,83  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  entre os tratamentos de reposição hídrica (RH) 0,25 a 1,25 respectivamente. Além da disponibilidade hídrica crescente que favorece melhores condições as plantas, a utilização de água residuária na irrigação melhora o desempenho fisiológico provavelmente em grande parte da disponibilidade de nutrientes para as plantas em especial o nitrogênio presente nas águas residuárias de origem domésticas (SOUZA et al., 2010).



**Figura 17.** Taxa de fotossíntese líquida em função da lâmina de reposição hídrica em plantas de pinhão-manso durante a fase de floração

Conforme Maggiotto (1996), além da radiação solar, a temperatura foliar está associada a parâmetros, como baixo conteúdo de água no solo, ou simplesmente à defasagem entre a absorção de água em relação à transpiração da cultura. No entanto a variação da temperatura da folha de pinhão-manso observada entre as lâminas de reposição hídrica foi pequena (2,63%) variando de 33,28 a 34,18° C, entre a lâmina 1,25 e 0,75 (RH). A transpiração é o principal mecanismo envolvido na regulação da temperatura foliar e que menores aberturas estomáticas levam a redução da transpiração e ao aumento da temperatura do tecido foliar (MACHADO et al., 2005).

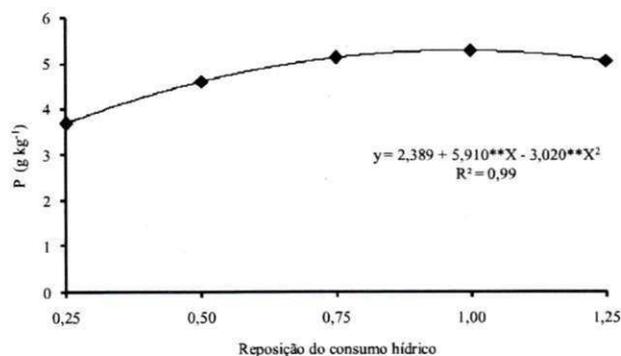
Observam-se na Tabela 13 as análises de variância para o teor de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre e ao fato de ter ocorrido efeito significativo da reposição hídrica ( $p < 0,01$ ), pelo teste F, sobre o teor de fósforo, cálcio e magnésio; no fator dose de fósforo (DP) não foi verificado efeito significativo, embora tenha se verificado haver interação significativa ( $p < 0,01$ ) entre os fatores para o teor de cálcio e magnésio, indicando que a reposição hídrica interfere no teor de cálcio e magnésio juntamente com a dose de fósforo ou vice versa.

**Tabela 13.** Resumo da análise de variância para os teores nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em folhas de pinhão-mansó cultivadas com água residuária em diferentes reposições hídricas durante o terceiro ciclo de produção

Causa de Variação	Quadrados Médios						
	N	P	K	Ca	Mg	S	
Reposição Hídrica (RH)	4	16,15ns	3,42**	74,38ns	390,78**	3,65**	0,010ns
R. Linear	1	-	9,52**	-	352,84**	7,33**	-
R. Quadrática	1	-	3,99**	-	725,07**	1,51**	-
Desvio Regressão	2	-	0,09ns	-	242,60**	2,87**	-
Dose de Fósforo (DP)	1	0,84ns	1,87ns	3,75ns	23,69ns	0,24ns	0,004ns
Interação RH x DP	4	12,56ns	0,33ns	10,42ns	216,79**	3,80**	0,03ns
Bloco	3	9,28ns	0,22ns	22,39ns	4,58ns	0,30ns	0,02ns
Resíduo	27	12,60	0,51	34,44	13,68	0,29	0,02
CV (%)		10,48	15,01	18,03	14,15	8,17	33,03

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns - Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

Conforme os estudos de regressão, o aumento na reposição hídrica para as plantas apresentou correlação quadrática para o teor de fósforo nas folhas da planta (Figura 18). Observa-se segundo a equação de regressão obtida, que na reposição hídrica de 0,50, 0,75, 1,00 e 1,25 RH houve acréscimo no teor de fósforo de 24,77, 39,29, 43,53 e 37,52%, em relação à reposição hídrica de 0,25, respectivamente; portanto, com base nesses resultados se constatada ter havido a maior concentração de fósforo ( $5,28 \text{ g kg}^{-1}$ ) ao se repor 0,98 da necessidade hídrica da cultura.



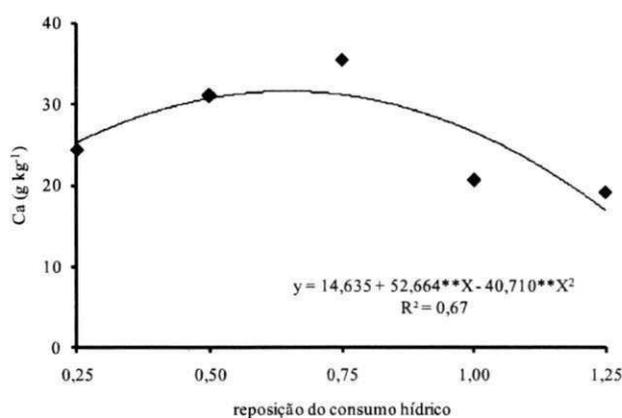
**Figura 18.** Teores de fósforo (P) em folhas do pinhão-mansó em função do nível de reposição hídrica

O fósforo tal como o potássio é elemento que necessita de umidade para sua difusão e o aumento da reposição hídrica implicou em maior teor de umidade no solo e consequentemente maior solubilidade e maior difusão na solução do solo proporcionando aumento na disponibilidade desse nutriente para as plantas, por outro lado a água residuária de origem urbana utilizada para a irrigação apresentava  $6,7 \text{ mg L}^{-1}$  de fósforo, o



que implica em um aporte extra de nutriente no solo, já que quando comparada com a água de abastecimento, não apresentou nenhuma quantidade de fósforo em análise química.

Fato semelhante ao observado para o P foi registrado para o teor de Ca, com as reposições hídricas de 0,50, 0,75 e 1,00 apresentando acréscimo no teor de Ca de 21,91; 23,66 e 5,27%, em relação à reposição de 0,25, respectivamente; porém quando se compara a reposição hídrica de 0,25 com a reposição hídrica de 1,25 nota-se um decréscimo de 33,26%. Observou-se também que o teor máximo de Ca nas folhas da planta foi obtido com uma reposição hídrica de 0,65 com 31,67 g kg<sup>-1</sup> (Figura 19).

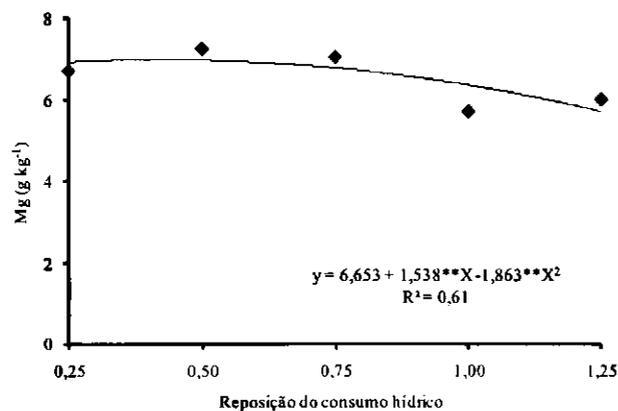


**Figura 19.** Teor foliar de cálcio - Ca em pinhão-mansão cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração

A água de reúso utilizada para a irrigação continha uma concentração média de 156,1; 31,8 e 59,7 mg L<sup>-1</sup> de sódio, potássio e nitrogênio total, respectivamente, que interfere no aumento da RH através de maior quantidade desses elementos, possivelmente interferindo na absorção do cálcio, o que justifica os menores valores para as maiores lâminas de RH. Além da transpiração, a concentração de íons na solução externa, sobretudo Na<sup>+</sup>, e a presença de íons antagonísticos (K, NH<sub>4</sub>) reduzem a absorção de cálcio (MARENCO & LOPES, 2005).

O pinhão-mansão é exigente em Ca, sendo importante que o solo apresente teores adequados desse nutriente para não limitar seu crescimento e sua produção (LAVIOLA & DIAS, 2008). De modo geral, é ideal que o teor de Ca no solo seja mantido na faixa adequada, ou seja, acima de 3,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, considerando-se uma relação de 4 a 3:1 com o Mg (ALVAREZ et al., 1999).

Em relação ao teor de magnésio, verifica-se que o efeito depreciativo provocado pelo aumento da reposição hídrica segue o modelo quadrático ( $p < 0,01$ ), obtendo-se uma diferença de 17,48% entre a menor RH (0,25) e a maior (1,25); os pontos de máximo e mínimo alcançados foram de 6,98 e 5,72  $\text{g kg}^{-1}$ , para RH 0,50 e 1,25, respectivamente; entretanto, o maior teor de magnésio foi obtido com uma RH de 0,42 segundo a equação (Figura 20). Nota-se que a deficiência hídrica favoreceu a concentração de magnésio nas folhas da planta, o que se deve ao fato de que o magnésio é um elemento facilmente translocado dos tecidos velhos para os mais novos e em crescimento ativo. O magnésio é responsável pela manutenção do pH e pelo balanço de cargas citosol e no estroma dos cloroplastos, além de sua função na síntese de proteínas (MARSCHNER, 1995). Dessa forma, reduções significativas nos teores de magnésio podem causar o mau funcionamento dos cloroplastos influenciando diretamente na fotossíntese e no desenvolvimento vegetal.



**Figura 20.** Teor foliar de magnésio - Mg em pinhão-mansão cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração

O pinhão-mansão possui alto teor de macronutrientes no limbo foliar, apresentando a seguinte ordem de acúmulo:  $\text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{P} > \text{S}$ . É uma planta que apresenta alta taxa de crescimento, sendo o N essencial para a assimilação do C e formação de novos órgãos na planta (TAIZ & ZEIGER, 2004). A relação N/K foi de 1,4 nas folhas e este nutriente é requerido na ativação de diversas enzimas essenciais à síntese de compostos orgânicos, entre eles o amido (MARENCO & LOPES, 2005).

As análises de variância e as médias observadas para os teores de ferro, zinco, cobre, manganês, cloreto, e sódio nas folhas do pinhão-mansão, estão resumidas na

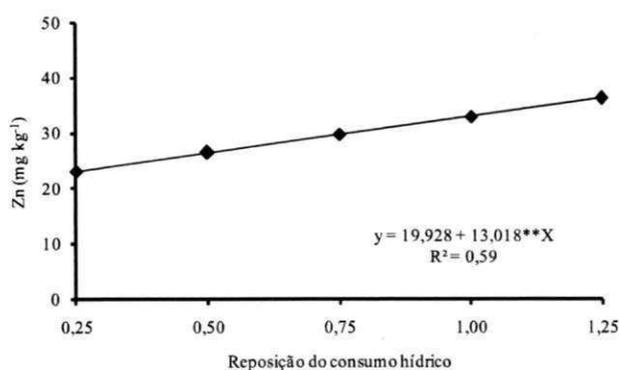
Tabela 14. Verifica-se não ter havido efeito significativo da reposição hídrica apenas para o teor de ferro. No fator dose de fósforo e na interação reposição hídrica x dose de fósforo, não houve diferença significativa em nenhum dos teores avaliados.

**Tabela 14.** Resumo da análise de variância para os teores ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), cloro (Cl), e sódio (Na) em folhas de pinhão-manso cultivadas com água residuária em diferentes reposições hídricas durante o terceiro ciclo de produção

Causa de Variação		Quadrados Médios					
		Fe	Zn	Cu	Mn	Cl	Na
Reposição Hídrica (RH)	4	1107,18ns	356,63**	7,27**	3908,68**	912,47**	193109299,36**
R. Linear	1	-	847,34**	20,51**	21376,32**	2498,95**	724246803,87**
R. Quadrática	1	-	20,61ns	7,87**	4412,71ns	413,49**	46583500,28**
Desvio Regressão	2	-	279,29**	0,34ns	19,25ns	13,12ns	803446,64ns
Dose de Fósforo (DP)	1	96,63ns	7,98ns	0,54ns	2360,99ns	5,46ns	4075622,21ns
Interação RH x DP	4	411,91ns	34,52ns	0,72ns	98,17ns	45,47ns	11477914,18ns
Bloco	3	603,56ns	94,63ns	0,733ns	344,91ns	2,07ns	1337745,10ns
Resíduo	27	544,46	32,98	0,34	804,03	20,91	6387747,48
CV (%)		21,46	19,34	12,60	36,62	32,66	23,05

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

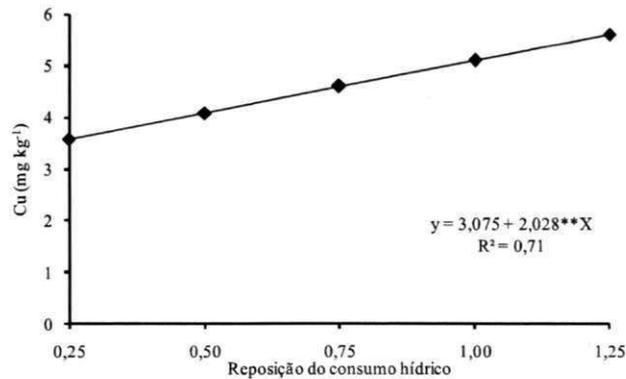
O aumento da reposição hídrica resultou em acréscimo linear no teor de zinco nas folhas (Figura 21), ocorrendo incrementos, em relação a 0,25 de RH, segundo os modelos matemáticos, de 14,04; 28,08; 42,12 e 56,15%, na reposição hídrica de 0,50; 0,75, 1,00 e 1,25, respectivamente, correspondentes a incrementos de 14,04% para cada aumento de 0,25 na RH.



**Figura 21.** Teor foliar de zinco – Zn, em pinhão-manso cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração

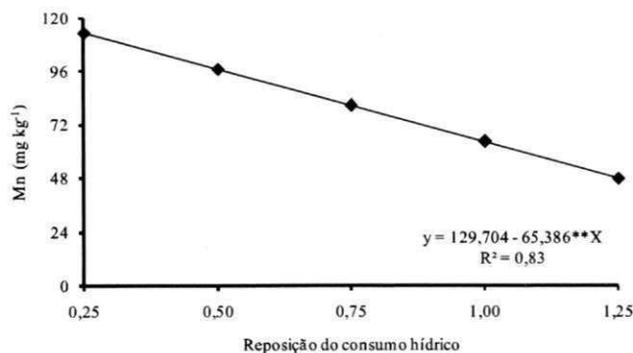
Para o teor de cobre constatou-se efeito linear do fator reposição hídrica (Figura 22), conforme os estudos de regressão, obtendo-se uma diferença de aproximadamente 56% de

aumento entre RH de 0,25 e 1,25, com pontos de máximo e mínimo de 5,60 mg kg<sup>-1</sup> (1,25 RH) e 3,58 mg kg<sup>-1</sup> (0,52 RH), respectivamente. Fica evidenciado, portanto, através dos resultados acima citados, que houve maior concentração de cobre nas folhas de pinhão-manso. Como o zinco e o cobre estão presentes na água residuária, com o aumento da RH foram constatados teores crescentes desses elementos no limbo foliar.



**Figura 22.** Teor foliar de cobre - Cu em pinhão-manso cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração

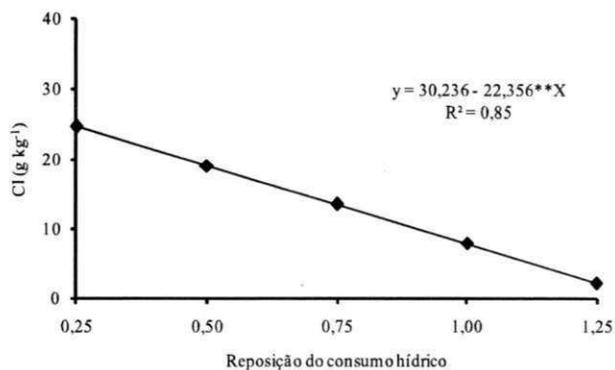
O aumento na reposição hídrica inibiu linearmente o teor de manganês (Figura 23). Observa-se segundo as equações de regressão, redução na concentração do nutriente a partir da RH 0,25, sendo que em relação a RH 1,25 apresentou decréscimo de 57,68%, correspondente à redução de 14,42%, por aumento de 0,25 na reposição hídrica.



**Figura 23.** Teor foliar de manganês - Mn, em pinhão-manso cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração

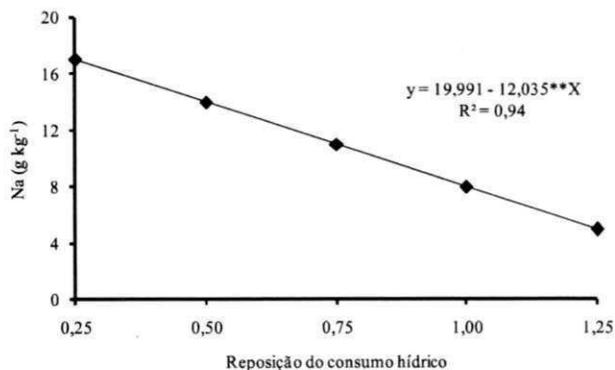
De acordo com os estudos de regressão (Figura 24), o aumento na suplementação hídrica nas plantas resultou em declínio no teor de cloro linearmente, segundo o modelo de regressão encontrado, sendo estimada uma diferença de 90,7%

entre a reposição hídrica de 0,25 e 1,25; entre os intervalos de reposição hídrica avaliado com os pontos de máximo e mínimo de 24,65 e 2,29 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 24.** Teor foliar de cloro - Cl em pinhão-mansão cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração

O aumento da reposição hídrica resultou em declínio no teor de sódio nas folhas do pinhão-mansão (Figura 25), ocorrendo decrementos, segundo os modelos matemáticos utilizados, de 17,72%, por incremento de cada intervalo avaliado (0,25 RH); verificando-se assim, ter havido uma diferença de aproximadamente 71%, entre a menor (0,25) e a maior reposição hídrica (1,25). Os teores de sódio e manganês decresceram nas folhas de pinhão-mansão que receberam maior quantidade de água em função possivelmente, do porte da planta (volume de biomassa), ocorrendo que o manganês e o sódio devem ter sido diluídos em sua estrutura fisiológica.



**Figura 25.** Teor foliar de sódio – Na em pinhão-mansão cultivado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o terceiro ano de produção no período da floração

A ordem de acúmulo do sódio e micronutrientes obtida para as folhas de pinhão-mansão foi a seguinte: Na > Cl > Fe > Mn > Zn > Cu. O fato dos elementos sódio e cloreto serem os primeiros em ordem de acúmulo no limbo foliar se justifica pela alta condutividade elétrica da água residuária na ordem de 1,39 dS m<sup>-1</sup>. O alto teor de sódio e cloreto observado está associado à sua disponibilidade no solo, decorrente da aplicação da água residuária na irrigação.

#### **IV.3.4. Conclusões**

O incremento na reposição hídrica com água residuária proporcionou incremento nas trocas gasosas foliares, notadamente na taxa de assimilação de carbono;

O teor dos elementos obedeceu à seguinte ordem decrescente nas folhas:  $N > K > Mg > Ca > P > Na > S > Fe > Mn > Zn > Cl > Cu$ ;

Com o aumento da reposição hídrica os teores foliares de P, Zn, e Cu aumentaram enquanto os teores de Cl, Mn e Na decresceram suas concentrações no limbo foliar;

As doses de  $P_2O_5$  aplicadas não influenciaram nos teores de nenhum dos elementos estudados.

#### IV.4. TEORES DE NUTRIENTES FOLIARES E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS EM PINHÃO-MANSO SUBMETIDO A ESTRESSE SALINO E ADUBAÇÃO FOSFATADA

**RESUMO:** Objetivando avaliar trocas gasosas e teores de macro e micronutrientes em folhas de pinhão-manso cultivados sob condições de salinidade, conduziu-se um experimento em casa de vegetação adotando-se um delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial, combinando cinco níveis de salinidade da água de irrigação - CEa (0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup>) e duas doses de fósforo (135 e 200 g planta<sup>-1</sup>) e com quatro repetições. Cada planta foi cultivada em vaso com capacidade de 200 L. As taxas de trocas gasosas foliares foram obtidas utilizando-se medidor portátil de fotossíntese (IRGA), na quarta folha expandida a partir do ápice da planta. Para determinar o teor de nutrientes da planta, utilizou-se o limbo foliar localizado entre a quarta e quinta folha abaixo da inflorescência. Verificou-se que o nível salino da água de irrigação afetou negativamente as variáveis de trocas gasosas (condutância estomática, perdas nas taxas de transpiração e de fotossíntese), e aumentou a temperatura foliar. O teor foliar dos nutrientes e do sódio obedeceu à seguinte ordem: K > N > Cl > Ca > Na > Mg > P > S > Fe > Mn > Zn > Cu. Com exceção do Cu todos os nutrientes e elementos avaliados aumentaram com o acréscimo da salinidade da água de irrigação. A menor dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizada foi suficiente para permitir o desenvolvimento da planta durante o período experimental, não havendo efeito de sua elevação nos parâmetros fotossintéticos avaliados.



**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L. Nutrição vegetal. Trocas gasosas. Condutividade elétrica

## LEAF NUTRIENT CONTENT AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF PHYSIC NUT SUBMITTED TO SALT STRESS AND PHOSPHORUS

**ABSTRACT:** Aiming to evaluate gas exchange and concentration of macro and micronutrients in leaves of physic nut grown under saline conditions, an experiment was conducted in protected ambient adopting a randomized block design in factorial scheme combining five levels of irrigation water salinity EC<sub>w</sub> (0.6; 1.2; 1.8; 2.4 and 3.0 dS m<sup>-1</sup>) and two levels of phosphorus (135 and 200 g plant<sup>-1</sup>) and with four replications. Each plant was grown in pots with a capacity of 200 L. The gas exchange rates (leaf temperature, transpiration, stomatal conductance and photosynthesis) were obtained using a portable photosynthesis meter (IRGA), in the fourth expanded leaf from the apex of the plant. To determine the nutrient content of the plant, the limbo located between the fourth and fifth leaf below the inflorescence was used. The determination of nutrients followed the methodology described by Silva (1999). It was found that the salinity level of irrigation water affected the variables of gas exchange and accumulation of the minerals which has following sequence: K > N > Ca > Cl > Na > Mg > P > S > Fe > Mn > Zn > Cu. With the exception of copper all evaluated nutrients and increased with increasing salinity of irrigation water. The lowest dose of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> used was sufficient to allow the development of the plant during the experimental period, there was no effect of its increase in photosynthetic parameters evaluated.

**Key words:** *Jatropha curcas* L. Plant nutrition. Gas exchanges. Electrical conductivity

#### IV.4.1. Introdução

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie perene e monóica, pertencente à família das Euforbiáceas, é um arbusto de crescimento rápido, caducifólico, que pode atingir mais de 5 m de altura, os frutos são do tipo cápsula ovóide, trilocular, contendo normalmente três sementes, sendo uma semente por lóculo; as sementes apresentam teor de óleo variando entre 33 e 38% e representam entre 53 e 79% do peso do fruto (DIAS et al., 2007).

Tem-se observado extraordinária expansão da área cultivada com essa espécie devido ao interesse da indústria por fontes energéticas alternativas e não fósseis. O óleo do pinhão-manso é muito procurado pela indústria com vista à fabricação de biodiesel (LAVIOLA & DIAS, 2008). Este crescimento de área plantada tem gerado expressiva demanda por informações, sobremaneira no que se refere às necessidades nutricionais da planta (OLIVEIRA et al., 2010a). A recomendação de adubação de uma cultura depende das demandas nutricionais das plantas para o crescimento vegetativo e reprodutivo (LAVIOLA & DIAS, 2008). Deve se levar em consideração a eficiência de aproveitamento dos adubos aplicados e a fração de nutrientes suprida pelo solo (PREZOTTI, 2001). A composição química e a concentração de nutrientes em folhas são informações imprescindíveis para conhecer as exigências nutricionais de uma planta (LAVIOLA & DIAS, 2008).

A produtividade das culturas resulta de uma complexa cadeia de eventos e processos que interagem com os fatores climáticos, tais como a fotossíntese, o crescimento da copa, a indução e a intensidade de florescimento, a fixação dos frutos e a massa e número final de frutos maduros colhidos, além da eficiência do uso de água e de nutrientes (GOLDSCHMIDT, 1999; PRADO et al., 2007). Os conhecimentos básicos das interações dos processos fisiológicos, bioquímicos e moleculares e os efeitos dos fatores ambientais sobre eles, possibilitam a adoção de técnicas de manejo da cultura de forma mais adequada visando à maior eficiência produtiva (MACHADO et al., 2010).

A região semiárida do Brasil é caracterizada por apresentar insuficiência hídrica e chuvas mal distribuídas além de uma das alternativas para aumento da produtividade nessa área é a irrigação. Entretanto, esta técnica, sob manejo inadequado, tem gerado vários problemas ambientais, principalmente a salinização do solo (GHEYI et al. 1991). Estima-se que 20% das terras cultivadas no mundo e aproximadamente metade das terras irrigadas estejam afetados por sais (SAIRAM & TYAGI, 2004). Este problema é

mais agudo nas regiões semiáridas em que a baixa pluviosidade e a elevada demanda evaporativa contribuem decisivamente para o agravamento da salinização dos solos. As altas concentrações de sais no solo podem, além de reduzir o potencial hídrico do solo, podem provocar efeitos tóxicos nas plantas, causando distúrbios funcionais e injúrias no metabolismo (VIÉGAS et al., 2001).

Em geral, os solos brasileiros são ácidos e de baixa fertilidade natural, principalmente em nitrogênio e fósforo que têm limitado o rendimento das culturas (SOUZA et al., 2009). Limitações de fósforo no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento das raízes e parte aérea, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de fósforo a níveis adequados no decorrer de seu crescimento (GRANT et al., 2001).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as taxas de trocas gasosas e o teor de macro e micronutrientes em folhas de pinhão-mansão cultivadas sob condições de estresse salino e duas doses de fósforo.



#### IV.4.2. Material e Métodos

O estudo foi realizado em casa de vegetação da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande-PB com as seguintes coordenadas geográficas: 07°15'18'' de latitude Sul, 35°52'28'' de longitude Oeste e altitude média de 550 m. O clima da região é do tipo Csa, que representa clima mesotérmico, subúmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno conforme a classificação climática de Köppen, adaptada ao Brasil (COELHO & SONCIN, 1982).

Adotou-se o delineamento experimental em bloco casualizados em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator formado por cinco níveis de salinidade da água de irrigação – CEa (0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C), e o segundo fator composto pelas duas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (135 e 200g planta<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), com quatro repetições. As soluções salinas foram preparadas a partir dos sais NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O na proporção equivalente (7:2:1), entre os cátions Na<sup>+</sup>:Ca<sup>2+</sup>:Mg<sup>2+</sup>, obedecendo a relação entre a CEa e sua concentração (mmolc L<sup>-1</sup> = CE x 10). Os tratamentos de referência foram o nível de salinidade de 0,6 dS m<sup>-1</sup>; relativo a água de abastecimento e a dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 135 g por planta; recomendação para pinhão-manso segundo Tominaga et al. (2007).

O ensaio foi implantado em abril de 2007 em espaçamento de 1,6 x 1,7 m e as plantas se encontravam no terceiro ano de produção. Utilizaram-se recipientes plásticos com capacidade de 200 L e uma planta por vaso. O solo foi classificado como Argissolo Acinzentado Eutrófico (SANTOS et al., 2006), textura franco-arenoso, não salino e não sódico retirado a uma camada de 0 - 30 cm proveniente do distrito de São José da Mata em Campina Grande-PB.

Ressalta-se que o presente trabalho é continuação de experimentos anteriores realizados durante dois anos. Neste período de experimento foram seguidas as recomendações de adubação sugeridas por Novais et al. (1991) para ensaios conduzidos em ambientes protegidos. O solo foi adubado na fundação com 100; 300 e 150 mg kg<sup>-1</sup> de solo de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, utilizando-se como fonte de nutrientes uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente e para o segundo ano seguiu-se a mesma recomendação para adubação de cobertura.

No início do terceiro ano realizou-se uma poda drástica, deixando-se todas as plantas com altura de 60 cm. Na adubação mineral foram incorporados 80 g de N, 62 g de K<sub>2</sub>O e as

duas doses de  $P_2O_5$  (135 e 200 g) por ano. Portanto, as doses dos fertilizantes foram fracionadas em 12 meses equitativamente utilizando-se as mesmas fontes de nutrientes.

As irrigações foram realizadas ao final da tarde seguindo-se turno de rega de três dias e fixada uma fração de lixiviação em 0,15; para evitar grandes concentrações de sais no solo. Durante a condução do experimento foram realizados os seguintes tratamentos culturais: eliminação manual das plantas daninhas, escarificação superficial do solo a cada duas irrigações e as pulverizações efetuadas uma vez por semana com produtos indicados para controle preventivo de insetos e doenças fúngicas.

Para obtenção dos dados de temperatura da folha, fotossíntese, condutância estomática e transpiração foi utilizado um medidor portátil de trocas gasosas (IRGA, mod. LCI System ADC, Hoddesdon, UK), na quarta folha expandida a partir do ápice da planta. No entanto, esta prática só foi realizada nas plantas de pinhão-manso que receberam a menor dose de fósforo (DP<sub>1</sub>: 135 g), visto que, se observou em análise preliminar não haver diferença nas leituras de trocas gasosas entre as duas doses (DP<sub>1</sub> e DP<sub>2</sub>) de  $P_2O_5$ . As medições foram realizadas sob luz saturante, utilizando-se uma fonte artificial de radiação, e sob condições ambientais de temperatura e concentração de  $CO_2$ . As leituras foram realizadas no período da inflorescência, o que corresponde à maior concentração de nutrientes na planta e maior atividade fotossintética.

Para determinação dos teores dos macro e micronutrientes e de sódio utilizou-se o limbo foliar e se selecionaram folhas maduras, sadias e sem ataque de pragas e doenças, localizadas entre a quarta e a quinta folha abaixo da inflorescência. O material vegetal amostrado foi lavado com água destilada e secado em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C, até peso constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas, moídas e submetidas a análises químicas segundo metodologias recomendadas por Silva (1999).

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste F em nível de 0,05 de probabilidade e nos casos de significância, realizou-se análise de regressão polinomial linear e quadrática, utilizando-se software estatístico SISVAR-ESAL (FERREIRA, 2003).

#### IV.4.3. Resultados e Discussão

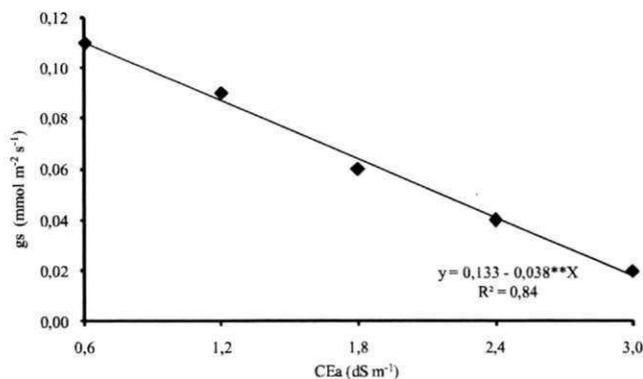
Observa-se na Tabela 15, efeito significativo ( $p < 0,01$ ) dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação sobre a condutância estomática, as taxas de transpiração e fotossíntese, bem como sobre a temperatura de folha.

**Tabela 15.** Resumo da análise de variância para condutância estomática, taxa de transpiração, taxa de fotossíntese e temperatura de folha em folhas de pinhão-manso cultivadas com água salina durante o terceiro ano de produção no período da floração

Causa de Variação		Quadrados Médios			
		gs	E	A	TF
Nível Salino (NS)	4	0,01**	0,36**	6,33**	0,85**
Bloco	3	0,01**	0,28**	0,35ns	8,96**
Resíduo	12	0,0005	0,04	1,46	0,15
CV (%)		33,78	32,92	8,88	1,23

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns - Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F.

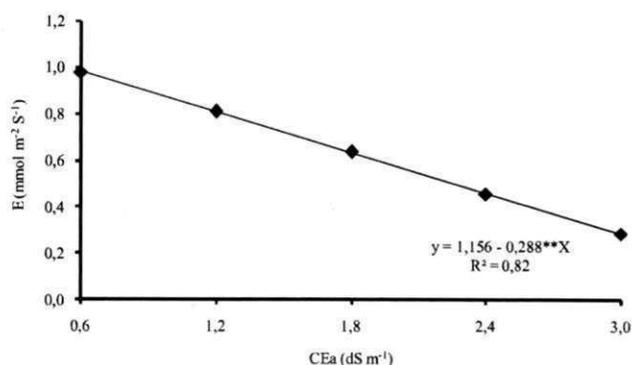
A aplicação contínua de água com CEa  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  reduziu a condutância estomática em pinhão-manso em 81,81% em relação a aplicação de água com CEa  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 26). Este fechamento parcial dos estômatos pode ser decorrente do efeito osmótico, associado ao acúmulo de sais no solo, e também da redução da condutividade hidráulica do sistema radicular, em função do aumento da suberização e lignificação dos tecidos vasculares das raízes de plantas sob estresse salino (NEVES et al., 2009).



**Figura 26.** Condutância estomática em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante a fase de floração

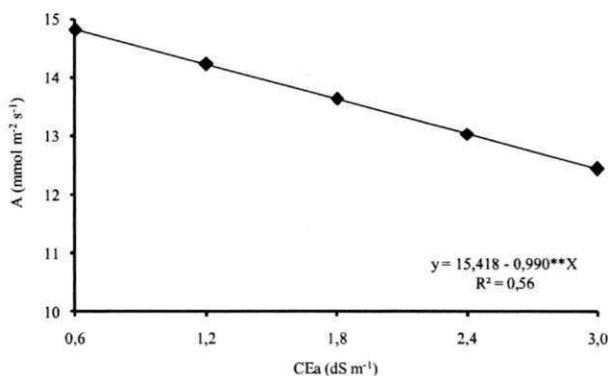
As plantas apresentaram menores valores de taxa transpiratória com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação havendo um decréscimo de 70,41% entre as plantas irrigadas com CEa de  $0,6$  e  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 27). As diferenças na taxa transpiratória entre plantas estressadas podem ser explicadas pela redução na

condutância estomática, conforme mostrado na Figura 26, que diminui a transpiração e incrementa a temperatura foliar (PINTO et al., 2008).



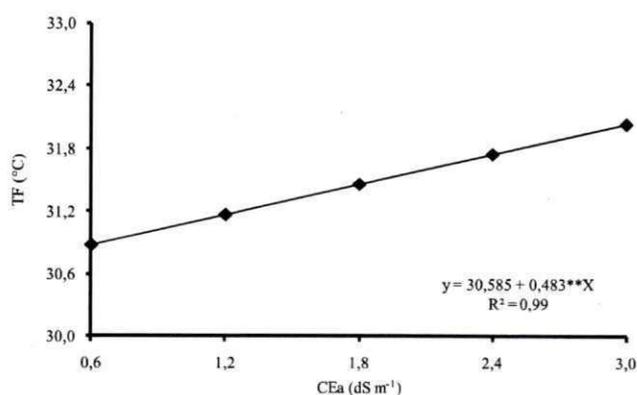
**Figura 27.** Taxa de transpiração em função da lâmina da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-mansão durante a fase de floração

Os valores obtidos para taxa de fotossíntese líquida foram de 14,82 e 12,45  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , para 0,6 e 3,0  $\text{dS m}^{-1}$ , respectivamente, demonstrando um decréscimo de 16% (Figura 28). A redução na taxa de fotossíntese foi bem menos expressivas do que outras observadas, indicando que a redução na expansão celular antecede a inibição do processo fotossintético pela salinidade (LACERDA et al., 2006).



**Figura 28.** Taxa de fotossíntese em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-mansão durante a fase de floração

A temperatura da folha do pinhão-mansão aumentou conforme os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação variando de 30,83 a 32,03 °C constando um aumento de 3,75% (Figura 26). A transpiração é o principal mecanismo envolvido na regulação da temperatura foliar ocorrendo menores aberturas estomáticas levam a redução da transpiração e ao aumento da temperatura do tecido foliar (MACHADO et al., 2005).



**Figura 29.** Temperatura foliar em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-mansão durante a fase de floração

Verifica-se que houve efeito significativo (Tabela 16) da salinidade da água utilizada na irrigação nos teores de todos os macronutrientes, exceto para o enxofre, enquanto as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> influenciaram apenas os teores de potássio, fósforo e cálcio, havendo interação entre os dois fatores estudados só para cálcio.

**Tabela 16.** Resumo da análise de variância para teores foliares de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Enxofre de pinhão-mansão cultivado com água salina e adubação fosfatada durante o terceiro ano de produção

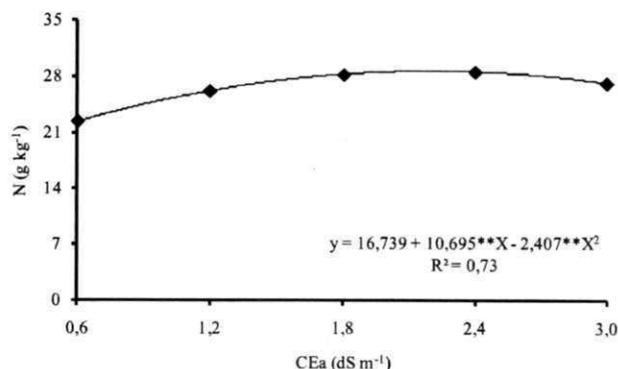
Causa de Variação	Quadrados Médios						
	N	K	P	Ca	Mg	S	
Nível salino (NS)	4	69,295**	42,543**	4,264**	29,760**	0,649**	0,208ns
R. Linear	1	118,41**	81,71**	15,90**	109,79**	0,61ns	-
R. Quadrática	1	84,13**	73,37**	0,93ns	3,49ns	0,03ns	-
Desvio Regressão	2	37,32*	7,55ns	0,11ns	2,88ns	0,98**	-
Dose de Fósforo (DP)	1	0,967ns	60,025**	2,318**	19,796**	0,105ns	0,059ns
Interação NS x DP	4	23,404ns	10,129ns	0,100ns	14,353**	0,135ns	0,071ns
Bloco	3	20,402ns	16,607ns	0,089ns	0,398ns	0,020ns	0,037ns
Resíduo	27	9,905	6,603	0,242	2,719	0,17	0,026
CV (%)		11,90	8,37	11,40	9,09	6,34	41,91

\*\* Significativo (p < 0,01), \* Significativo (p < 0,05) e ns Não significativo (p > 0,05) pelo teste F

Segundo a equação de regressão na Figura 30 o efeito da salinidade da água de irrigação no teor de nitrogênio (N) ajustou-se melhor ao modelo quadrático, com acréscimo no teor de nitrogênio de 14,07, 23,15, 24,68 e 18,65% para as águas de condutividade elétrica de 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente, quando comparado

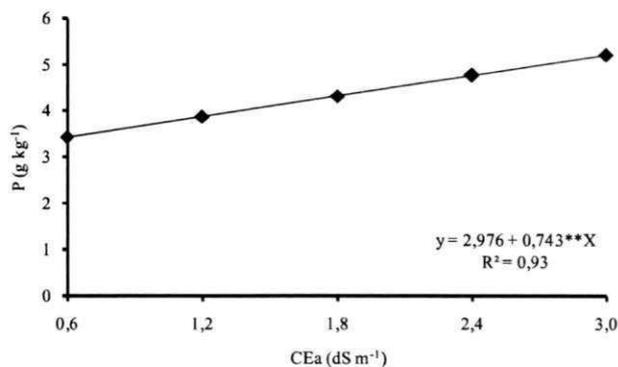


com a água de CE de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ ; porém o ponto máximo foi obtido com uma água de irrigação de condutividade elétrica de  $2,20 \text{ dS m}^{-1}$  ( $28,62 \text{ g kg}^{-1}$  de N).



**Figura 30.** Teor foliar de nitrogênio – N, em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-mansão durante o terceiro ano de produção

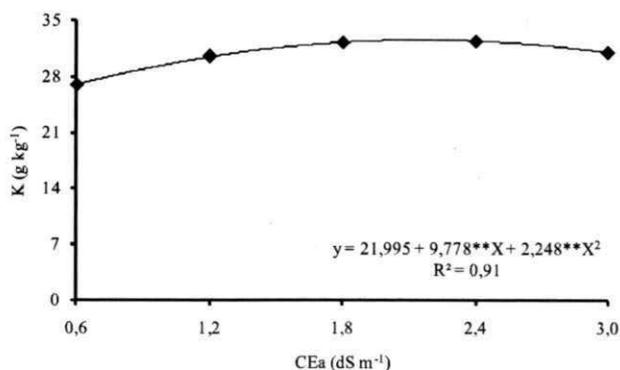
No teor de fósforo (P) o efeito do nível salino da água de irrigação foi linearmente crescente (Figura 31), apresentando um acréscimo de 24,97% por aumento unitário na condutividade elétrica da água de irrigação, chegando, segundo o modelo de regressão, a um teor de P de  $5,21 \text{ g kg}^{-1}$  ao se irrigar com água de CE de  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ . Este acúmulo de P nas folhas de plantas sob estresse salino pode ser explicado em consequência da redução da translocação associada à diminuição da taxa de crescimento (LACERDA et al., 2006).



**Figura 31.** Teor foliar de Fósforo – P, em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-mansão durante o terceiro ano de produção

Assim como o teor de nitrogênio, o teor de potássio (K) apresentou resposta quadrática (Figura 2C) aos níveis salinos da água de irrigação, com teor máximo de K ( $32,63 \text{ g kg}^{-1}$ ) obtido, segundo a equação de regressão, quando se irriga com uma água de CE de  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ ; observa-se, também, um aumento no teor de K, em relação à água

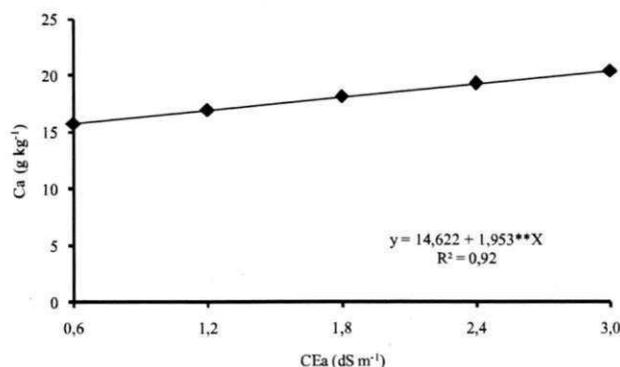
de CE de 0,6 dS m<sup>-1</sup>, de 12,71, 19,44, 20,18 e 14,97% ao se irrigar com água de CE de 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 32.** Potássio – K, em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção

Este resultado diverge dos obtidos por outros autores que indicam a redução do teor de K nas folhas como resposta comum em plantas submetidas ao estresse salino, podendo estar relacionada ao antagonismo entre Na e K durante o processo de absorção (MARSCHNER, 1995). No entanto, resultados conflitantes têm sido encontrados em plantas de feijão-de-corda, sendo observado acúmulo em alguns genótipos e redução em outros (COSTA et al., 2003). Salienta-se que as reduções nos teores de K ocorrem, principalmente, quando se aplica apenas o NaCl como fonte salina, o que não ocorreu no presente estudo.

O teor de cálcio (Ca) nas folhas do pinhão-manso, cresceu linearmente com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 33).



**Figura 33.** Teor foliar de Cálcio – Ca, em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção

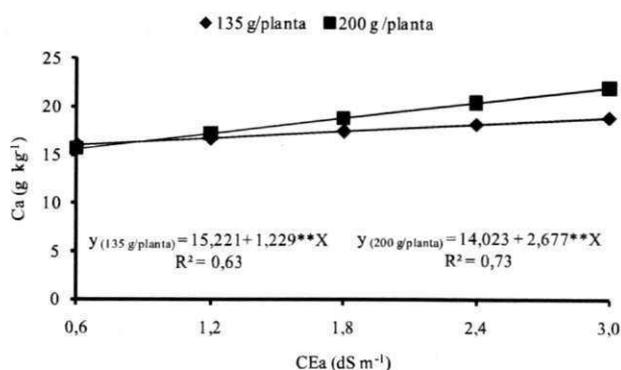
Apresentando um acréscimo de 13,36% por aumento unitário da condutividade elétrica da água, dando assim um incremento de 29,70% no teor de Ca das plantas irrigadas com água de CE de 3,0 dS m<sup>-1</sup> (20,48 g kg<sup>-1</sup>), em comparação com o teor das plantas irrigadas com água de CE de 0,6 dS m<sup>-1</sup> (15,79 g kg<sup>-1</sup>).

Com o teor de magnésio (Mg) apesar de ter apresentado diferença significativa entre os níveis de salinidade, os modelos de regressão linear e quadrático não se ajustaram aos dados, com os valores de R<sup>2</sup> muito baixos. Contudo, o desvio da regressão foi significativo, sinalizando que haverá algum modelo significativo, mas provavelmente não teria uma explicação fisiológica plausível neste tipo de comportamento. Contudo, pode-se afirmar que a maior concentração de Mg (6,99 g kg<sup>-1</sup>) foi obtido com uma água de irrigação de CE de 2,4 dS m<sup>-1</sup> e a menor concentração foi as plantas irrigadas com água de CE de 0,6 dS m<sup>-1</sup> (6,51 g kg<sup>-1</sup>), havendo diferença de 6,78%.

Mediante o exposto, pode-se dizer que as folhas de pinhão-manso obtiveram a seguinte ordem de acúmulo no teor dos macronutrientes: K > N > Ca > Mg > P > S. O potássio é um dos macronutrientes exigidos pelas culturas em maior proporção. As necessidades desse elemento são muito maiores que as de fósforo, sendo da mesma ordem de grandeza que as exigências em nitrogênio quando se considera as quantidades desses elementos contidas na planta (MALAVOLTA, 1989).

Em relação ao fator dose de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), observa-se diferença significativa no teor de potássio e fósforo. Nota-se mediante as médias, que o teor de K das plantas que receberam a dose DP<sub>2</sub> (200 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> planta<sup>-1</sup>) foi 9,21% maior que o das plantas que receberam a dose DP<sub>1</sub> (135 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> planta<sup>-1</sup>). De modo geral, verifica-se que os teores de P foram maiores nas plantas que receberam a maior dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, alcançando 18,2% superior no tratamento com maior nível de salinidade.

Nota-se no desdobramento da interação NS x DP (nível salino x doses de fósforo) que as plantas que receberam água com CE 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup> apresentaram teor de Ca 3,17; 8,09; 12,55 e 16,60% superior com a maior dose de fósforo (DP<sub>2</sub> - 200 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), segundo a equação da regressão (Figura 34).



**Figura 29.** Teor de cálcio em plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) submetido a irrigação com água salina e doses de fósforo durante a fase de floração do terceiro ano de produção

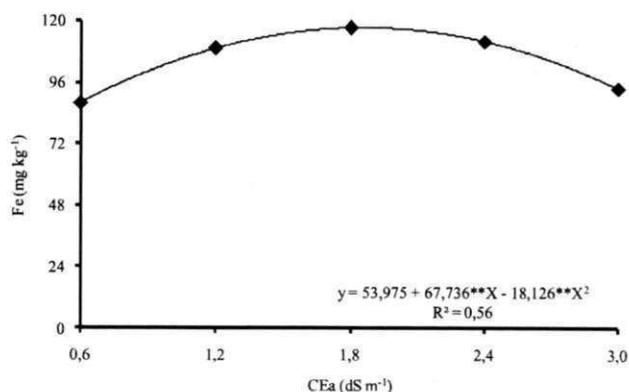
Com base na análise de variância (Tabela 17), constata-se que a salinidade da água de irrigação influenciou os teores de ferro, zinco, cobre, manganês cloro e sódio, enquanto as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> influenciaram apenas os teores de manganês, não havendo interação entre os dois fatores estudados.

**Tabela 17.** Resumo da análise de variância para teores foliares de Ferro, Zinco, Cobre, Manganês, Cloro, e Sódio de pinhão-manso cultivado com água salina e adubação fosfatada durante o terceiro ano de produção

Causa de Variação		Quadrados Médios					
		Fe	Mn	Zn	Cu	Cl	Na
Nível salino (NS)	4	2305,87**	789,15**	94,79**	1,18**	55,33**	60895357,89**
R. Linear	1	177,49ns	2961,81**	288,27**	2,15**	2,81ns	199569856,90**
R. Quadrática	1	4768,99**	41,93ns	20,78ns	1,87**	85,89**	4906247,34ns
Desvio Regressão	2	2138,51**	1,14ns	35,06**	0,35ns	5,59**	19552663,66ns
Dose de Fósforo (DP)	1	74,26ns	3748,67**	23,03ns	1,29ns	14,16ns	4323108,56ns
Interação NS x DP	4	90,99ns	67,02ns	12,78ns	1,04ns	8,32ns	380007,85ns
Bloco	3	435,60ns	115,78ns	28,33**	2,57**	6,34ns	5957559,20ns
Resíduo	27	326,59	66,76	8,09	0,36	11,85	4516824,79
CV (%)		17,36	11,41	12,13	16,05	15,18	19,62

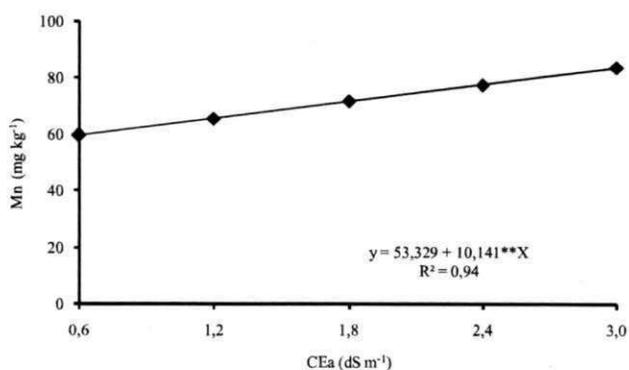
\*\* Significativo (p < 0,01), \* Significativo (p < 0,05) e ns Não significativo (p > 0,05) pelo teste F

Houve um incremento no teor de ferro (Fe) até uma CEa de 1,9 dS m<sup>-1</sup>, mas, a partir desta CE da água ocorreu decréscimo, em torno de 4,29 e 19,73%, para as águas de CE de 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 30) e teor máximo (117,24 mg kg<sup>-1</sup>) foi verificado ao se irrigar com água de CE de 1,9 dS m<sup>-1</sup>.



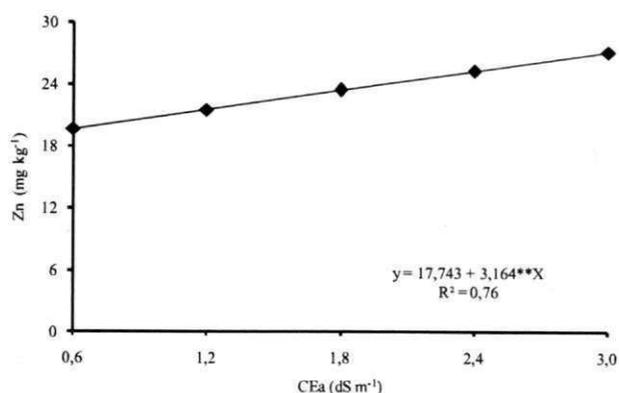
**Figura 35.** Teor foliar de Ferro – Fe, em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-mansão durante o terceiro ano de produção

No caso de manganês, o modelo de regressão linear (Figura 4B), demonstra que ao se irrigar as plantas com águas salinas de até CE de 3,0 dS m<sup>-1</sup>, houve aumento de 18,99% por aumento unitário na CEa no teor de manganês (Mn).



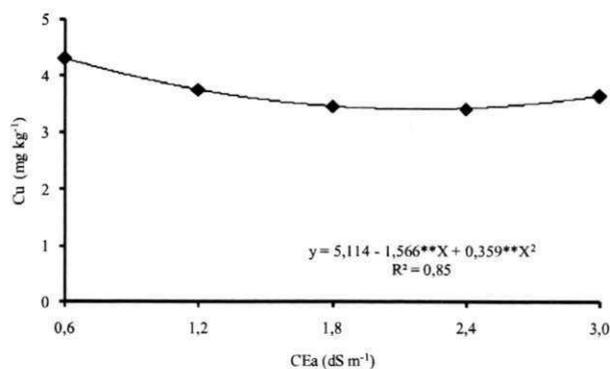
**Figura 36.** Teor foliar de Manganês – Mn, em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-mansão durante o terceiro ano de produção

Segundo o modelo de regressão (Figura 37), a partir da água de CE de 0,6 dS m<sup>-1</sup> o teor de zinco (Zn) nas plantas aumentou linearmente com o incremento da salinidade da água de irrigação, apresentando acréscimo relativo de 38,66%, quando comparada a irrigação com água possuindo CE de 0,6 dS m<sup>-1</sup> e água de 3,0 dS m<sup>-1</sup> resultando em um incremento de 16,11% por aumento unitário na condutividade elétrica da água de irrigação.



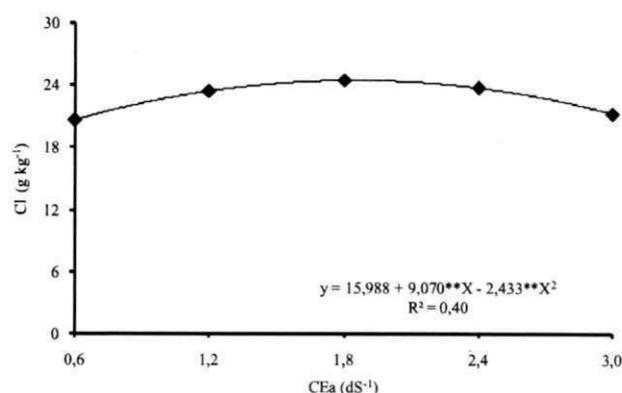
**Figura 37.** Teor foliar de Zinco – Zn, em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-mansão durante o terceiro ano de produção

Por outro lado, o teor de cobre (Cu) nas folhas da planta decresceu, segundo o modelo de regressão (Figura 38), até a CEa de 2,2 dS m<sup>-1</sup> (3,40 mg kg<sup>-1</sup>). Nota-se que da água de CE de 0,6 dS m<sup>-1</sup> até as águas de CE de 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup>, deu-se um declínio no teor de cobre de 20,45 e 15,26%, respectivamente.



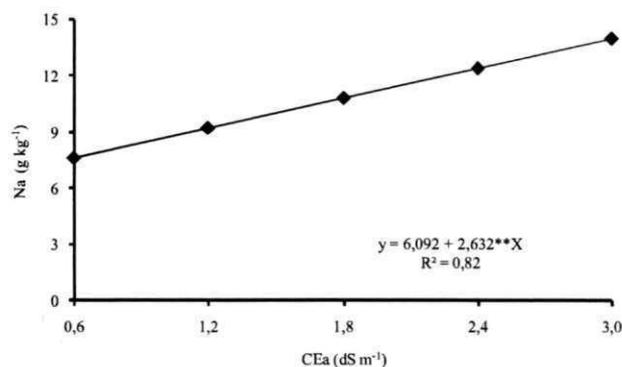
**Figura 38.** Teor foliar de Cobre – Cu, em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-mansão durante o terceiro ano de produção

O teor de cloro (Cl), cresceu até uma CE da água de irrigação de 1,8 dS m<sup>-1</sup>, apresentando um acréscimo de 18,88% em relação as testemunhas (CEa de 0,60 dS m<sup>-1</sup>) e a partir daí decresceu 2,82 e 12,81% quando se irrigou com uma água de CE de 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 39). Segundo o modelo de regressão o teor máximo de Cl foi obtido quando a CE da água de irrigação foi igual a 1,9 dS m<sup>-1</sup>, atingindo um teor de 24,44 g kg<sup>-1</sup> de Cl.



**Figura 39.** Teor foliar de Cloro – Cl, em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção

O fato da composição das águas de irrigação ser a base de sais de sódio, cálcio e magnésio, com maior proporção de sódio, resultou que o teor deste elemento nas folhas do pinhão-manso foi o que obteve maior percentual de acréscimo ao se aumentar a salinidade, haja vista que se verificou, segundo o modelo de regressão (Figura 40), um incremento (comparado com água de CE de 0,6 dS m<sup>-1</sup>) de 20,60, 41,20, 61,80 e 82,40% no teor de Na para as plantas irrigadas com água de CE de 1,2, 1,8, 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 40.** Teor foliar de Sódio – Na, em função da condutividade elétrica da água de irrigação em plantas de pinhão-manso durante o terceiro ano de produção

A elevada concentração de Na e Cl no tecido vegetal durante a exposição das plantas ao estresse salino representou um dos principais efeitos desse estresse sobre o metabolismo vegetal envolvido neste trabalho. No entanto, o componente iônico da salinidade pode causar danos irreparáveis em estruturas celulares os quais podem comprometer a eficiência metabólica e até mesmo provocar a morte celular (SHI et al., 2002).

A ordem de acúmulo dos micronutrientes obtidos para as folhas do pinhão-mansão em relação a CE da água de irrigação foi: Cl > Na > Fe > Mn > Zn > Cu.

Em relação ao fator dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> observou-se incremento no teor de Mn, com a dose DP<sub>2</sub> sobressaindo-se em 28,78% quando comparada a DP<sub>1</sub>, não havendo diferença para os demais nutrientes.

#### IV4.4. Conclusões

A salinidade da água de irrigação prejudica as plantas de pinhão-mansão, provocando reduções na condutância estomática, perdas nas taxas de transpiração e de fotossíntese, além de aumento na temperatura foliar;

O teor foliar dos nutrientes e o elemento sódio obedeceram à seguinte ordem:  $K > N > Cl > Ca > Na > Mg > P > S > Fe > Mn > Zn > Cu$ . Com exceção do cobre todos os nutrientes e elementos avaliados aumentaram com o acréscimo da salinidade da água de irrigação;

O teor máximo de N e K nas folhas do pinhão-mansão foi obtido com uma CEa de  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ ;

A menor dose de  $P_2O_5$  utilizada é suficiente para permitir o desenvolvimento da planta durante o período experimental.



#### **IV.5. COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE PINHÃO-MANSO SOB DIFERENTES LÂMINAS COM EFLUENTES DOMÉSTICO E ADUBAÇÃO FOSFATADA**

**RESUMO:** O uso de água residuária na produção agrícola visa promover a sustentabilidade da agricultura irrigada, economizando águas superficiais não poluídas, mantendo a qualidade ambiental e servindo como fonte nutritiva às plantas. Objetivou-se com este trabalho estudar a influência de lâminas de irrigação com água residuária e duas doses de fósforo sobre os componentes de produção e teor de óleo de sementes de pinhão-manso. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados e os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (5 x 2) e quatro repetições, tendo uma planta por parcela. Os tratamentos foram compostos pela combinação de cinco níveis de reposição hídrica (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 do uso consuntivo das plantas) e duas doses de  $P_2O_5$  (135 e 200 g planta<sup>-1</sup>) aplicadas por ano. A produtividade e o teor de óleo das sementes de pinhão-manso foram afetados positiva e significativamente pelo nível de reposição hídrica enquanto o acréscimo das doses de fósforo influenciou entre as variáveis em estudo, somente o número de cachos.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L. Produtividade. Estresse hídrico. Reúso. Teor de óleo

**COMPONENTS OF PRODUCTION UNDER DIFFERENT OF PHYSIC NUT DEPTHS WITH DOMESTIC EFFLUENTS AND PHOSPHORUS NUTRITION**

**ABSTRACT:** The use of wastewater in agricultural production promotes the sustainability of the irrigated agriculture, saving non polluted surface waters maintaining the environmental quality and serving as a source of nutrients for plants. The aim of this work was to study the influence of different levels of wastewater and two doses of phosphorus the production components and oil content of physic nut seeds. A randomized design in factorial layout (5 x 2) was used with four repetitions. Treatments consisted of combination of five levels of irrigation depths (equivalent to 0.25; 0.50; 0.75; 1.00 and 1.25 of consuntivo use of water) and the two doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (135 and 200 g plant<sup>-1</sup>) per year. The productivity and the oil content of the seeds of physic nut were affected positive and significantly by water depths while. The increment of the phosphorus doses influenced among the variables in study, only the number of clusters.

**Key words:** *Jatropha curcas* L. Productivity. Water stress. Reuso. Oil content

#### IV.5.1. Introdução

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) é uma cultura com amplo potencial agrícola, destacando-se pela alta produtividade e qualidade satisfatória do óleo para produção de biodiesel, além de possuir melhor estabilidade à oxidação do que outras oleaginosas como a soja e o dendê, além de boa viscosidade se comparado ao da mamona (TEIXEIRA, 2005). Há pouco tempo despertou interesse comercial no País, por apresentar características desejáveis tanto na renovação da base energética nacional como na agricultura familiar, favorecendo a permanência do homem no campo (DALLACORT et al., 2010).

Segundo Laviola & Dias (2008), a cultura do pinhão-mansão é uma espécie perene, pertencente à família das Euforbiáceas, a mesma da mamona, mandioca e seringueira. Sua fase reprodutiva se inicia a partir do décimo mês após o plantio, período em que ocorre aumento progressivo de produção até o terceiro ou quarto ano, quando se estabiliza (ARRUDA et al., 2004; MARTINS et al., 2008).

Atualmente, 18% da área agricultável em todo mundo, cerca de 275 milhões de hectares, são irrigados. Esta mesma parcela é responsável pela produção de 42% dos alimentos consumidos pelo homem (CHRISTOFIDIS, 2002). No Brasil, cerca de 5% da área cultivada são irrigadas (aproximadamente três milhões de hectares), respondendo por 16% da produção agrícola (BRITO et al., 2002); entretanto, esta consome cerca de 68% de água e, devido ao crescimento dessas áreas, referido valor pode chegar a 80% nos próximos dez anos, aumentando os conflitos na grande maioria das bacias hidrográficas brasileiras, especialmente naquelas com desenvolvimento agrícola e urbano significativo (HESPANHOL, 2003).

A água é um recurso cada vez mais escasso, seja pelo crescimento populacional, com aumento da demanda, seja pelo comprometimento do uso, especialmente pela poluição dos mananciais. Uma das alternativas para amenizar tais problemas em muitas regiões, tem sido o uso de águas de qualidade inferior para os mais variados setores da sociedade como, por exemplo, a utilização de água residuária na agricultura e na indústria (NOBRE et al., 2010).

A região semiárida do Nordeste do Brasil é caracterizada pela baixa fertilidade natural dos solos (MENEZES & OLIVEIRA, 2008) e o uso de adubos inorgânicos é pouco frequente devido ao limitado poder aquisitivo da maioria dos agricultores.

As exigências nutricionais do pinhão-mansão são tidas como mínimas, no entanto, esta observação é feita de forma errônea, pois quando se trata de produtividade e não de produção, o pinhão produz apenas para a sobrevivência da espécie (ex. das

plantas asselvajadas), mas quando se trata de plantas altamente produtivas o uso de insumos, tais como, os adubos, age diretamente na fisiologia da planta, em virtude do seu estado nutricional atender as exigências para maior produção de frutos. Fica evidente que estudos sobre a adubação do pinhão-mansão são oportunos, principalmente quando se tem em vista seu plantio comercial na Região Nordeste, em que a maioria dos solos é pobre em nutrientes minerais (OLIVEIRA, 2009).

O pinhão-mansão possui alto teor de nutrientes em seus tecidos, apresentando a seguinte ordem de acúmulo no limbo foliar:  $N > Ca > K > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu$ ; já em frutos maduros, observou-se a seguinte ordem de acúmulo de nutrientes:  $N > K > Ca > P \geq Mg > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu$ . Apesar de o fósforo (P) estar entre o quarto e o quinto nutriente mais requerido pela cultura, ele é muito limitante, sobretudo na fase inicial de crescimento do pinhão-mansão (LAVIOLA & DIAS, 2008).

Silva et al. (2007), constataram, estudando os efeitos da adubação nitrogenada e fosfatada na produção de plantas de pinhão-mansão, constataram que a aplicação de 240 e 400 kg de N e  $P_2O_5$   $ha^{-1} ano^{-1}$ , respectivamente, proporcionou a máxima produção de grãos da ordem de 1.538 kg  $ha^{-1} ano^{-1}$ . Os autores constataram ainda que a aplicação de P elevou a produção linearmente apenas a partir da aplicação de 125 kg de N  $ha^{-1} ano^{-1}$ , e que abaixo dessa dose o aumento da aplicação de doses de P reduziu a produção de grãos de forma linear.

O consumo de água de determinada cultura é uma função direta da demanda atmosférica do local, do conteúdo de água presente no solo e da capacidade de resistência da planta à perda de água através das folhas (SILVA, 2009). Estudos com culturas resistentes a seca tem sido frequentes em razão do interesse de se conseguir altos valores de eficiência, mantendo-se altas produtividades. Porém, a ênfase dada à resistência a seca é em geral relacionada à sobrevivência da planta durante períodos de déficit hídrico, resultante do baixo fornecimento de água e alta radiação, temperatura e demanda evaporativa da atmosfera (SILVA, 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da reposição hídrica com água residuária de esgoto doméstico e duas doses de fósforo sobre componentes de produção e teor de óleo das sementes de pinhão-mansão.

#### IV.5.2. Material e Métodos

A pesquisa foi realizada em ambiente protegido da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, PB, com as seguintes coordenadas geográficas: 07°15'18"S, 35°52'28"W e altitude de 550 m. O clima da região, conforme a classificação climática de Köeppen, é do tipo Csa (COELHO & SONCIN, 1982), que representa um clima mesotérmico, subúmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e estação chuvosa de outono a inverno. Foi adotado o delineamento experimental em blocos ao acaso, com tratamentos distribuídos em esquema fatorial (5 x 2), compostos de cinco níveis de reposição hídrica (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 do consumo da planta), duas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (DP<sub>1</sub> – 135 g e DP<sub>2</sub> – 200 g por planta) e quatro repetições com uma planta por parcela.

O experimento foi implantado em casa de vegetação, em abril de 2007, em espaçamento de 1,6 x 1,7 m. Foram utilizados recipientes de plástico com capacidade para 200 L, com lisímetros de drenagem e uma planta por vaso. O solo utilizado como substrato foi classificado como Argisolo Acinzentado eutrófico (SANTOS et al., 2006) e retirado de uma camada de 0-30 cm proveniente do distrito de São José da Mata, Campina Grande, PB. Nos dois primeiros anos de cultivo, foram seguidas as recomendações de adubação de Novais et al. (1991) para ensaios em ambientes protegidos. O solo utilizado como substrato foi adubado na fundação com 100, 300 e 150 ppm de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O; utilizaram-se, concomitantemente, como fonte de nutrientes, urcia, superfosfato simples e cloreto de potássio. No início do terceiro ano de cultivo, realizou-se uma poda drástica, o que deixou todas as plantas com 60 cm de altura. Para a adubação mineral, incorporaram-se ao solo 80 g de N e 62 g de K<sub>2</sub>O por planta, além das duas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, fracionados igualmente para aplicação mensal, durante um ano.

O turno de rega foi de três dias e se fixou uma fração de lixiviação de 0,05 para lâmina de reposição hídrica de 1,00, a fim de garantir a capacidade de campo. A água residuária era oriunda do riacho de Bodocongó que apresentou pH, 7,5; CE, 1,3 dS m<sup>-1</sup>; P, K e N total, Ca e Mg, respectivamente, 6,7; 31,8; 59,7; 42,9 e 41,2 mg L<sup>-1</sup>, e foi tratada por processo biológico anaeróbico em reator tipo “upflow anaerobic sludge blanket” (UASB).

Registrou-se da emissão das primeiras inflorescências, em dias após poda (DAP) e o número de cachos de cada planta foi determinado mediante a identificação de cada cacho na planta com um cordão; sendo assim, no final da produção foi realizada a contagem do

número de cordões de cada planta, obtendo-se o número de cachos por planta. Os frutos foram coletados a cada três dias, secados por mais três dias e as sementes foram pesadas e quantificadas posteriormente. Ao final do ciclo, as sementes foram homogeneizadas por repetições, e se determinou a massa e o teor de óleo de 100 sementes. Para obtenção do teor de óleo, as sementes foram aclimatadas à temperatura de 20°C por 24 horas e submetidas a análise não destrutiva em triplicas autênticas por ressonância magnética nuclear de baixo campo (American Oil Chemists Society - AOCS, 2000).

Obteve-se a eficiência do uso da água (EUA) através do consumo de água de cada parcela em volume e o consumo cumulativo de todo o ciclo e determinada pela relação entre a massa total das sementes e o volume de água efetivamente consumido em cada tratamento, de acordo com a metodologia descrita por Barker et al. (1989).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Nos casos de significância, foram realizadas análises de regressão polinomiais para o fator lâmina, e, para a dose de fósforo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



#### IV.5.3. Resultados e Discussão

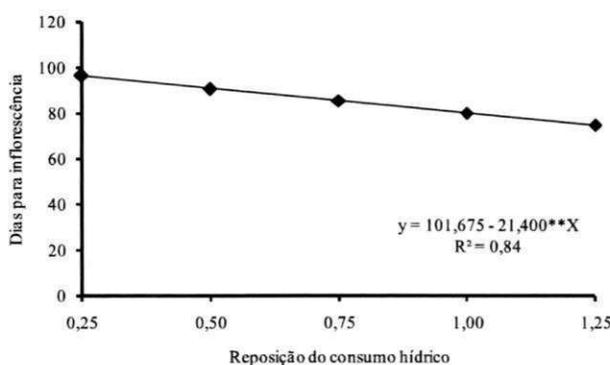
Os níveis de reposição hídrica do consumo afetaram significativamente, a emissão das primeiras inflorescências, número de cachos, peso de 100 sementes e teor de óleo das sementes de plantas de pinhão-manso (Tabela 18).

**Tabela 18.** Resumo da análise de variância para emissão da inflorescência (INF), número de cachos (NC), número de frutos, peso de 100 sementes (PS100) e teor de óleo em semente (TO) avaliados em plantas de pinhão-manso cultivado em condições da reposição hídrica do consumo de água de reúso e fertilizado com fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
		INF	NC	PS100	TO
Reposição hídrica (RH)	4	679,94**	720,09**	3458,05**	293,28**
Reg. Linear	1	2289,80**	2702,81**	12535,27**	1039,97**
Reg. Quadrático	1	401,29**	157,94**	167,21ns	1,19ns
Desvio Regressão	2	14,33ns	9,80ns	564,85ns	65,98**
Dose de fósforo (DP)	1	99,23ns	55,23**	0,77ns	3,34ns
Interação (RH x DP)	4	61,66ns	19,79ns	183,00ns	3,54ns
Bloco	3	10,83ns	14,71ns	30,54ns	8,51
Resíduo	27	23,75	6,95	102,06	15,64
CV (%)		5,69	22,97	54,14	14,26

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns - Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

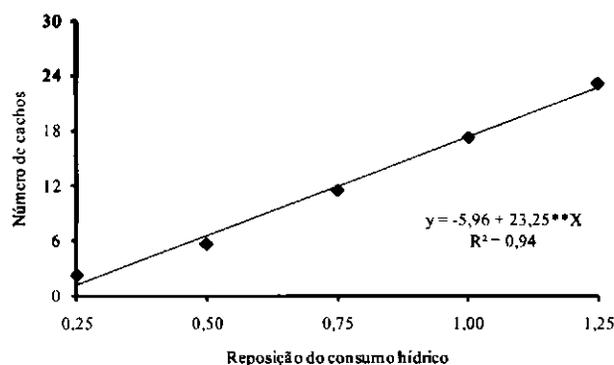
As emissões das inflorescências iniciais das plantas de pinhão-manso ocorreram em média, aos 96, 91, 86, 80 e 75 dias após a poda (DAP) para 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 de reposição hídrica (RH), respectivamente (Figura 41).



**Figura 41.** Dias para inflorescências iniciais em plantas de pinhão-manso sob condições de reposição hídrica com água residuária

Houve um intervalo médio de cinco dias entre os tratamentos decrescentes. Segundo Saturnino et al. (2005), as inflorescências do pinhão-manso surgem junto com as folhas novas e Beltrão et al. (2002) afirma que o pinhão-manso emite suas primeiras inflorescências entre 50 e 60 dias após a germinação. Silva (2009) observou no pinhão-manso atraso de oito dias no início da floração, ocorrendo aos 78, 79, 79, 88 e 76 dias após transplântio 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 RH, respectivamente, porém, este resultado não foi afetado significativamente. Lacerda (2006) observou que o início da floração da mamoneira é antecipado sob condições de maior disponibilidade hídrica no solo. Com 70, 90 e 100% de água disponível (AD), o autor registrou que as três primeiras inflorescências na mamona surgiram aos 101, 73 e 69 DAS, respectivamente, embora se tenha concluído o que era esperado na pesquisa, em que as dosagens de fósforo não afetaram as emissões de inflorescências. De vez que uma das funções do fósforo no metabolismo vegetal é o armazenamento e a transferência de energia obtida a partir da fotossíntese e do metabolismo de carboidratos e armazenar em compostos fosfatados para subsequente uso no crescimento e processos reprodutivos (TISDALE et al., 1993).

Ocorreu uma variação elevada na produção de número de cachos das plantas de pinhão-manso (Figura 42), entre os tratamentos 0,25 e 1,25 RH, além de decréscimo de 33,60; 67,26 e 87,16% e acréscimo de 33,60% para os tratamentos 0,75, 0,50; 0,25 e 1,25 RH, respectivamente, quando comparados ao nível 1,00 RH.



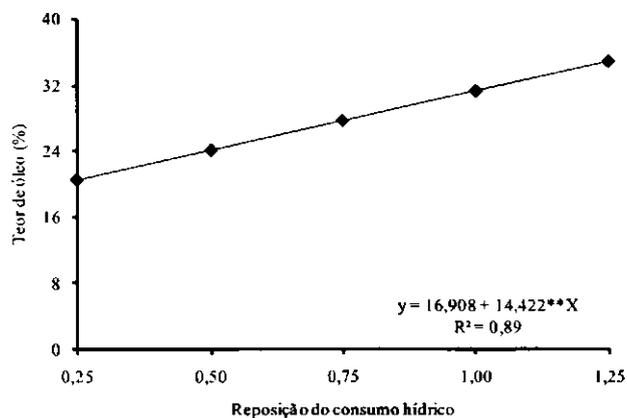
**Figura 42.** Número médio de cachos em plantas de pinhão-manso sob condições de reposição hídrica com água residuária.

Silva (2009) encontrou, estudando a reposição hídrica na mesma cultura efeito significativo para o primeiro ano de produção, valores superiores aos obtidos nesta pesquisa, tendo acréscimo de 46% quando comparado no mesmo nível 1,00 RH desta

pesquisa e acréscimo maior com 1,25 RH que obteve 194,29% no número de cachos quando comparado ao nível 1,00 RH obtido no primeiro ano. Fato passível de ser justificado pelo trato cultural que foi o controle de brotações dos ramos secundários, em que podemos afirmar que o controle de brotações não foi bem sucedido e nem recomendado.

As doses de fósforo afetaram significativamente o número médio de cachos por planta de pinhão-manso, em que a dose de 135 g de  $P_2O_5$  obteve em média 10 cachos por planta e a dose 200 g aproximadamente 13 cachos por planta de pinhão-manso. Ferreira et al. (2005) afirmam que águas de efluentes tratadas podem suprir a necessidade nutricional de culturas oleaginosas de ciclo curto como o algodoeiro herbáceo até a produção. No entanto, afirma-se que oleaginosas de ciclo longo como pinhão-manso mesmo contendo um teor de fósforo considerável (6,7 ppm), e disponibilidade do nutriente pode maximizar.

O teor de óleo foi significativamente influenciado pelos níveis de reposição hídrica (RH). Constatou-se efeito linear, com menor teor de óleo (20,52%) obtido no tratamento de RH 0,25 (Figura 43). Observou-se decréscimo de 11,51; 23,02 e 34,52%, para o teor de óleo das sementes de pinhão-manso, nos níveis 0,75; 0,50 e 0,25 de RH, respectivamente, e acréscimo de 11,51%, no nível de RH 1,25 em comparação ao de RH 1,00, que foi de 31,33%.



**Figura 43.** Teor de óleo de sementes de pinhão-manso em função da reposição hídrica com água residuária

Silva (2009) obteve, ao pesquisar o primeiro ano de produção do pinhão-manso irrigado com água residuária com lâminas de irrigação equivalentes, decréscimos e acréscimo menores em comparação ao nível de RH 1,00, maiores que os observados neste trabalho. Rodrigues (2008) encontrou efeito significativo para teor de óleo, ao estudar reposição hídrica em mamona. Conforme o autor, plantas irrigadas com

maiores lâminas de reposição produzem maior biomassa, o que permite afirmar que produzem também maior quantidade de óleo.

A massa das sementes foi significativamente influenciada pela RH com água residuária (Figura 44). Houve efeito linear, com decréscimo de massa de 16,91; 33,82 e 50,72% nos níveis 0,75; 0,50 e 0,25 de RH, respectivamente, em comparação ao de RH 1,00 e um acréscimo de 16,91% para o de RH 1,25. Os valores obtidos nos tratamentos de RH 1,00 e 1,25, segundo a equação de regressão, foram 74,04 e 86,55 g, respectivamente.

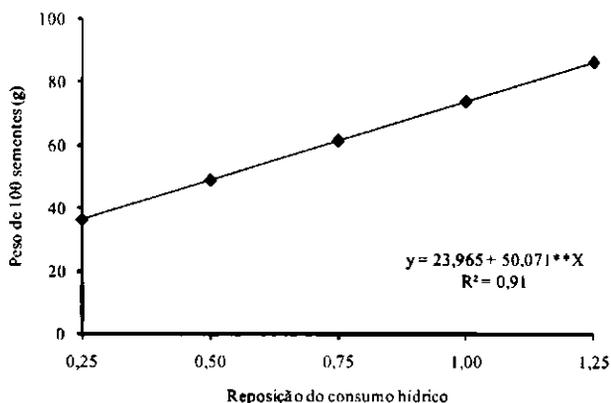
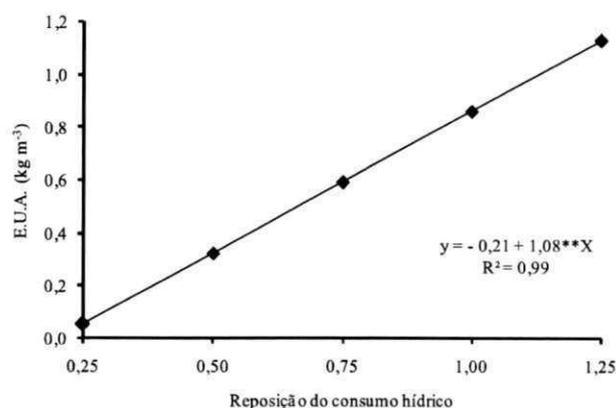


Figura 44. Peso de 100 sementes de pinhão-manso em função da reposição hídrica com água residuária.

Estes resultados corroboram com os que foram obtidos por Moreira et al. (2009), que estudaram o efeito de diferentes lâminas de irrigação na produtividade da mamoneira. Silva (2009) encontrou efeito significativo na massa das sementes, ao pesquisar cinco níveis de reposição em pinhão-manso.

A eficiência do uso da água foi significativamente influenciada pelos níveis de RH, com incremento linear de 31,29% a partir de RH 1,00, (Figura 45). O aumento da disponibilidade de água no solo ocasionou maior eficiência de uso da água pelas plantas de pinhão-manso, o que resultou em maior produção nos tratamentos com maior nível de reposição. A eficiência média do uso da água, nos tratamentos irrigados com água residuária, foi de 0,60 kg m<sup>-3</sup>, superior à encontrada por Silva (2009), para pinhão-manso, e por Rodrigues (2008) para a mamoneira. Barros Júnior et al. (2008) observaram aumento linear da eficiência de uso da água na mamoeira, resultante do incremento da disponibilidade de água no solo.



**Figura 45.** Eficiência do uso da água (E.U.A.) em sementes de pinhão-mansão em razão da reposição hídrica com água residuária

À medida que a massa das sementes aumenta, o teor de óleo também aumenta, com correlação positiva ( $R^2 = 0,99$ ) e uma dependência dessas variáveis. Embora haja na literatura haja trabalhos a respeito do efeito de lâminas de irrigação sobre várias culturas, o efeito sobre o teor de óleo não havia sido relatado.

As doses de fósforo não influenciaram significativamente o teor de óleo, a massa das sementes nem a eficiência do uso da água, que apresentaram decréscimo de 2,11% e acréscimo de 0,46 e 28,85% entre a menor e a maior dose de  $P_2O_5$ , respectivamente. É provável que a disponibilidade de nutrientes contidos na água residuária tenha interferido no teor dos nutrientes no solo e na planta. O resultado obtido corrobora com Souza et al. (2009) que não obtiveram efeito significativo avaliando componentes de produção na mamoneira em função de doses de fósforo variando de 80 a 320 kg ha<sup>-1</sup>.

#### **IV.5.4. Conclusões**

Os níveis de irrigação influenciaram os componentes de produção como emissão de inflorescência, número de cachos, número de frutos e peso de 100 sementes;

O teor de óleo foi influenciado significativamente pelo nível de reposição hídrica havendo um acréscimo de 11,51% no nível 1,25 de reposição hídrica;

O acréscimo das doses de fósforo influenciou, entre as variáveis em estudo, apenas o número de cachos.

#### IV.6. COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE PINHÃO-MANSO IRRIGADO COM ÁGUA DE DIFERENTES CONDUTIVIDADES ELÉTRICA E DOSES DE FÓSFORO

**RESUMO:** O pinhão-mansó tem atraído bastante interesse nos últimos anos por apresentar elevado potencial como fornecedor de óleo para produção de biocombustível, o que tem provocado a expansão rápida das áreas de cultivo em todo o mundo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da irrigação com água de diferentes condutividades elétricas (CEa) e doses de fósforo sobre os componentes de produção de pinhão-mansó durante o terceiro ano de produção. Usou-se o delineamento em blocos casualizados em um fatorial (5x2) com quatro repetições, sendo cinco níveis de salinidade (CEa - 0,6 testemunha; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0dS m<sup>-1</sup>) da água de irrigação e duas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (135 e 200g planta<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), em que a água de 0,6dS m<sup>-1</sup> refere-se à água de abastecimento e à dose de 135g planta<sup>-1</sup>, a recomendação para o pinhão-mansó. As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 200L e irrigados a cada três dias. O número de dias para inflorescência, número de cachos planta<sup>-1</sup>, produtividade de grãos e o teor de óleo das sementes de pinhão-mansó foram afetados negativamente pelo aumento da salinidade da água de irrigação. A cultura do pinhão-mansó irrigado com água com condutividade elétrica de 1,3dS m<sup>-1</sup> reduz 10% da produtividade das sementes e consequentemente do teor de óleo em suas sementes. Apenas o número de dias para inflorescência foi afetado pelas doses de fósforo. Verificou-se correlação positiva e significativa entre o peso de 100 sementes e o teor de óleo das sementes que, respectivamente, foram 90,26g e 36,39% no tratamento irrigado com a água de menor condutividade elétrica.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L. Salinidade. Adubação fosfatada. Peso de sementes. Teor de óleo

## **COMPONENTS OF PRODUCTION OF PHYSIC NUT IRRIGATED WITH WATER OF DIFFERENT ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND DOSES OF PHOSPHORUS**

**ABSTRACT:** The physic nut has attracted considerable interest in recent years because of high potential to provide oil for biofuel production and this has caused the rapid expansion of cultivated area worldwide. This research aimed to evaluate the influence of irrigation with water of different electrical conductivity (EC<sub>w</sub>) and two doses of phosphorus on the production components of physic nut during the third year of production. A randomized block design in a factorial (5x2) was adopted with four repetitions, with five levels of salinity (EC<sub>w</sub> - 0.6 control; 1.2; 1.8; 2.4 and 3.0 dS m<sup>-1</sup>) of the irrigation water and two doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (135 and 200 g plant<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) the water of 0.6 dS m<sup>-1</sup> refers to municipal supply water and the dose of 135 g plant<sup>-1</sup> is recommended dose for physic nut. Plants were cultivated in recipient of 200 L and irrigated at intervals of three days. The number of days for inflorescence, number of clusters plant<sup>-1</sup>, grain yield and oil content of physic nut seeds were negatively affected by increasing salinity of irrigation water. The cultivation of physic nut irrigated with electrical conductivity of 1.3 dS m<sup>-1</sup> reduces the productivity by 10% and consequently the seed oil content. Only the number of days for inflorescence was affected by phosphorus doses. A positive and significant correlation between weight of 100 seeds and oil content of seeds was observed and in the treatment with the lowest EC<sub>w</sub> the values obtained were respectively 90.26 g and 36.39%.

**Key words:** *Jatropha curcas* L. Salinity. Phosphorus nutrition. Weight of seeds. Oil content

#### IV.6.1. Introdução

A busca por sistemas de produção sustentável tornou-se meta fundamental no sentido ambiental para a sociedade como um todo, sendo o biodiesel uma alternativa. Dentre as culturas energéticas apontadas com grande potencial produtivo de óleo combustível, o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) possui o melhor potencial pela alta produção de óleo por hectare e por não concorrer com outros mercados, tal como se dá com outras culturas oleaginosas como algodão, girassol e soja, entre outros utilizados para outros fins (FRIGO et al., 2008).

A produtividade do pinhão-manso é muito variável, dependendo da região, do método de cultivo e dos tratamentos culturais, tal como da regularidade pluviométrica e da fertilidade do solo. Drumond et al. (2010) obtiveram produtividades variando de 330 kg ha<sup>-1</sup>, em condições de sequeiro, a 1.200 kg ha<sup>-1</sup>, em área irrigada, já no primeiro ano de cultivo em Petrolina-PE.

O rendimento de óleo é o principal produto deste cultivo, e o volume de óleo produzido em média de 33 a 38% pela planta depende da associação das características produtivas e vegetativas em determinado ambiente (LAVIOLA & DIAS, 2008; SPINELLI et al., 2010). Com exceção das questões analíticas da extração do óleo, seja pela prensagem ou pelo uso de solventes, o rendimento desse processo depende essencialmente do teor de óleo e do volume de matéria-prima utilizado na extração. Já em relação aos componentes de produção dessa oleaginosa, o rendimento de óleo depende da expressão de características vegetativas que se diferenciam, principalmente, em relação ao número de ramos, a projeção da copa e características produtivas, tais como, produção de grãos, peso de grãos, peso de amêndoas, peso de casca e teor de óleo nas sementes (RAO et al., 2008).

O uso do óleo desta cultura para a produção do biodiesel cria oportunidade para o aumento das áreas de plantio no semiárido nordestino. Porém, o período de chuvas nesta região é curto (4 a 5 meses) e desuniforme, sendo necessária a irrigação (GHEYI et al., 1991; VITAL et al., 2005). Prática esta, que tem contribuído ao longo do tempo, a propagação de áreas com restrições ambientais tais como afetadas por sais ou da água de irrigação (SOUZA, 2007). Estima-se que 20% da área cultivada no mundo já sofram devido à salinização do solo (SAIRAM & TYAGI, 2004).

O acúmulo de sais no solo decorrente da água de irrigação inibe o crescimento das plantas em virtude da redução do potencial osmótico da solução, restringindo a disponibilidade de água pelo acúmulo de íons nos tecidos vegetais, podendo ocasionar

toxicidade iônica e/ou desequilíbrio nutricional (SILVA et al., 2003). O grau de severidade com que esses componentes influenciam o desenvolvimento das plantas é dependente de muitos fatores, como da espécie vegetal, da cultivar, do estágio fenológico, da composição salina do meio, a intensidade, a duração do estresse e das condições edafoclimáticas e, ainda, do manejo da irrigação (GHEYI et al., 2005; NEVES et al., 2009).

A produtividade vegetal é um processo extremamente complexo que envolve fatores do solo, do clima e da genética da planta. Deferidos fatores interagem de maneira específica para cada ambiente local, determinando a produtividade da cultura (EPSTEIN & BLOOM, 2006). A fertilidade do solo é um dos fatores mais importantes da produtividade, pois ela determina as condições para o suprimento dos nutrientes minerais, o desenvolvimento radicular e, também, o rendimento e a qualidade do produto colhido (MORAIS, 2010).

O fósforo é um dos constituintes minerais mais relevantes para a atividade celular e, também, é o nutriente mais limitante para a produtividade de biomassa em plantas cultivadas em solos tropicais (NOVAIS & SMYTH, 1999). Isto ocorre em decorrência da alta deficiência deste elemento nos solos brasileiros, devido à alta capacidade de fixação do fósforo adicionado ao solo, através de mecanismos de adsorção e precipitação, reduzindo sua disponibilidade às plantas. Outro fator que deve ser levado em consideração, é a demanda de fósforo pela cultura, em que plantas em intenso desenvolvimento requerem maior nível de fósforo em solução (MORAIS, 2010).

Este trabalho teve por objetivo avaliar os componentes de produção de pinhão-mansão irrigados com água de diferentes condutividades elétricas e doses de fósforo.

#### IV.6.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado em ambiente protegido pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande-PB com as seguintes coordenadas geográficas: 07°15'18'' de latitude Sul, 35°52'28'' de longitude Oeste e altitude média de 550 m. O clima da região conforme a classificação climática de Köppen é do tipo Csa, que representa clima mesotérmico, subúmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno (COELHO & SOCIN, 1982).

O experimento foi iniciado em abril de 2007 em espaçamento de 1,6 x 1,7 m, utilizando-se recipientes plásticos com capacidade de 200 L (D=0,58 m e h=0,75 m); o sistema de drenagem foi composto de tela de nylon, 5,0 L de brita, 5,0 L de areia, mangueira e dois recipientes coletores de 2 L. Em cada lisímetro foram colocados aproximadamente 230 kg de material de solo devidamente destorroado e uma planta de pinhão-manso por vaso. O solo utilizado foi classificado como Argissolo Acinzentado Eutrófico (SANTOS et al., 2006), textura franco-arenoso, não salino e não sódico, retirado em uma camada de 0 - 0,30 m proveniente do distrito de São José da Mata em Campina Grande-PB.

Para o terceiro ano de produção adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, em um fatorial 5 x 2, com cinco condutividades elétricas (CEa) de 0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C da água de irrigação e duas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (135 e 200 g planta<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) com quatro repetições. As águas de diferentes salinidades utilizadas na irrigação foram, preparadas a partir dos sais NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O na proporção equivalente 7:2:1, entre os cátions Na<sup>+</sup>: Ca<sup>++</sup>: Mg<sup>++</sup> e aplicados durante um ano.

O solo foi adubado na fundação com 100, 300 e 150 ppm de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, conforme recomendação de Novais et al. (1991) para ensaios conduzidos em ambientes protegidos utilizando-se como fonte de nutrientes uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio para os dois primeiros anos de experimento.

No início do terceiro ano realizou-se uma poda drástica, deixando todas as parcelas com 60 cm de altura e três galhos principais; aos 30 dias após poda (DAP), foi realizado o primeiro desbaste, deixando-se apenas as duas brotações mais vigorosas por galho totalizando seis brotações por planta, aos 45 DAP, foi efetuado o segundo desbaste, quando então se eliminaram todas as brotações menores, entretanto, o controle de brotação continuou periodicamente.

Também foram aplicados no solo 1 kg de húmus de minhoca em dose única com o objetivo de elevar o conteúdo de matéria orgânica. Na adubação mineral foi incorporado anualmente 80 g planta<sup>-1</sup> de N e 62 g planta<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, e as duas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (135 e 200 g planta<sup>-1</sup>), conforme os tratamentos; sendo esses valores fracionados e aplicado mensalmente durante 12 meses.

As irrigações foram realizadas ao final da tarde, de acordo com o turno de rega de três dias e fixada uma fração de lixiviação em 0,15 como manejo para evitar grandes concentrações de sais no solo. Durante a condução do experimento foram realizados os seguintes tratos culturais: eliminação manual das plantas daninhas, escarificação superficial do solo a cada intervalo de duas irrigações e pulverizações realizadas uma vez por semana visando ao controle preventivo de doenças e pragas.

O registro da emissão das primeiras inflorescências e o número de cachos de cada planta foram determinados mediante a identificação de cada cacho na planta com um cordão, sendo assim, no final da produção foi realizada a contagem do número de cordões de cada planta, obtendo-se o número de cachos planta<sup>-1</sup>. A colheita dos frutos foi realizada a cada três dias e eles eram postos para secagem ao ar por mais três dias. Após este procedimento as sementes foram pesadas e quantificadas.

Ao final do ciclo, as sementes foram homogeneizadas por tratamento, em que determinou-se o peso de 100 sementes e o teor de óleo. Para as pesagens das sementes foi utilizada uma balança de precisão (0,01 g) e para a obtenção do teor de óleo, as sementes foram aclimatadas em temperatura de 20 °C por 24 horas e submetidas à análise não destrutiva em triplicas autênticas por ressonância magnética nuclear de baixo campo (AOCS, 2000).

Os dados obtidos foram avaliados mediante análise de variância pelo teste F e nos casos de significância, foram realizadas análise de regressão polinomial linear e quadrática para o fator nível salino, para o fator dose de fósforo as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade e teste de correlação de Pearson para peso de sementes e teor de óleo utilizando-se software estatístico SISVAR-ESAL (FERREIRA, 2003).

#### IV.6.3. Resultados e Discussão

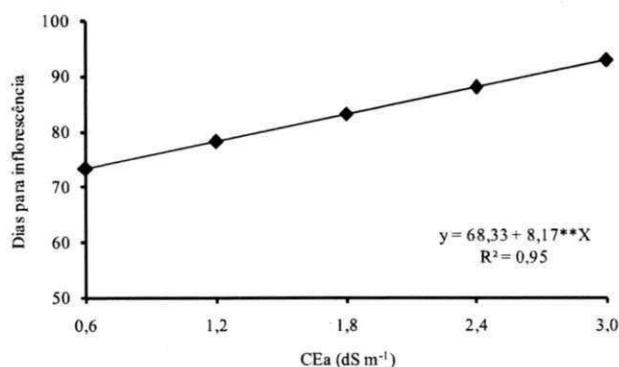
Foi observado que o número de dias para a primeira inflorescência aumentou significativamente com o aumento da salinidade da água de irrigação (Tabela 19).

**Tabela 19.** Resumo da análise de variância para emissão de inflorescência (INF), número de cachos (NC), número de sementes (NSE), peso de 100 sementes (PS 100) e teor de óleo em sementes (TO) de pinhão-mansô cultivado com água salina durante o terceiro ano de produção

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
		INF	NC	NSE	PS100	TO
Nível salino (NS)	4	504,09**	134,10**	92183,53**	1612,06**	238,74**
Reg. Linear	1	1920,80**	505,01**	356578,51**	5663,30**	913,88**
Reg. Quadrático	1	85,75**	0,08ns	617,58ns	409,28**	35,52ns
Desvio Regressão	2	4,90ns	15,65ns	5769,00ns	187,83ns	2,79ns
Dose de fósforo (DP)	1	60,03**	8,10ns	5856,40ns	21,79ns	20,49ns
Interação (NS x DP)	4	7,96ns	8,60ns	13275,78ns	138,50ns	13,59ns
Bloco	3	69,83**	4,57ns	15421,63ns	77,03ns	12,89ns
Resíduo	27	11,75	11,75	6127,65	58,79	13,88
CV (%)		4,13	34,11	32,91	10,44	12,57

\*\* Significativo ( $p < 0,01$ ), \* Significativo ( $p < 0,05$ ) e ns Não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

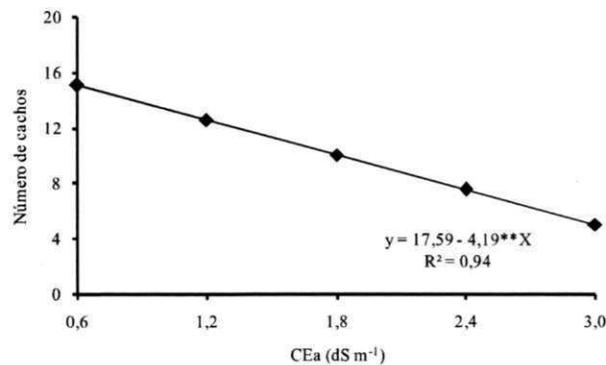
O percentual de acréscimo relativo por aumento unitário da salinidade da água de irrigação, foi de 12% e acréscimo de 27%, que equivale ao atraso em média de 20 dias para emissão da inflorescência das plantas que receberam água com condutividade elétrica de  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ , quando comparado com o das plantas que receberam o nível de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ . (Figura 46).



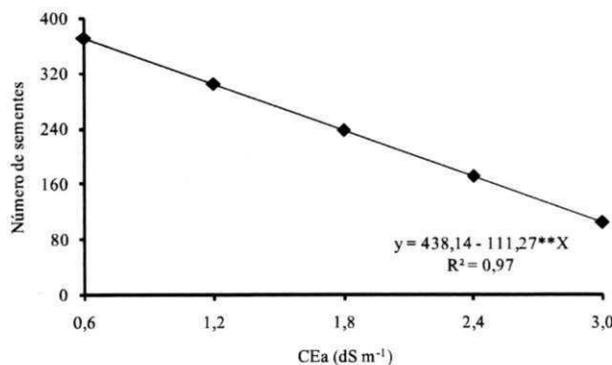
**Figura 46.** Dias para emissão da inflorescência de pinhão-mansô irrigados com água de diferentes condutividades elétrica

Corroborando com esta pesquisa, Silva et al. (2008) verificaram, em mamoneira, atraso do início da floração com o aumento da CEa de até 98,60%, o que equivale a 60 dias de diferença entre o nível salino de 0,7 e 6,7dS m<sup>-1</sup>. No entanto, Nery (2008), obteve pesquisando pinhão-manso nas mesmas condições deste trabalho, no primeiro ano de produção, diferença significativa somente na emissão da terceira inflorescência nas plantas irrigadas com água de 3,0dS m<sup>-1</sup>. É provável que este fato pode ser justificado pela lenta acumulação de sais no solo uma vez que o solo, no início do ensaio, não apresentava caráter salino.

As condutividades elétricas da água de irrigação afetaram o número de cachos de pinhão-manso, ajustando-se melhor ao modelo linear (Figura 47), apresentando, em média, 15 cachos nas plantas que receberam água de 0,6dS m<sup>-1</sup> e havendo decréscimo de 23,8% por aumento unitário da salinidade da água ou redução de 67% na condutividade de 3,0dS m<sup>-1</sup>, quando comparado com a menor condutividade.



**Figura 47.** Número de cachos de pinhão-manso irrigados com água de diferentes condutividades elétrica.



**Figura 48.** Número de sementes de pinhão-manso irrigados com água de diferentes condutividades elétrica.

O peso de 100 sementes também seguiu a mesma tendência e foi influenciado pelo aumento da salinidade da água de irrigação demonstrando decréscimo de 14% por aumento unitário da CEa de irrigação (Figura 49), apresentando decréscimo no peso das 100 sementes de 9% para a condutividade de 1,2 dS m<sup>-1</sup> quando comparado com a condutividade de 0,6 dS m<sup>-1</sup> que obteve massa de 90,26 g. Silva et al. (2008) observaram estudando o desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamona sob estresse salino decréscimo significativo no peso das amostras de 10 sementes.

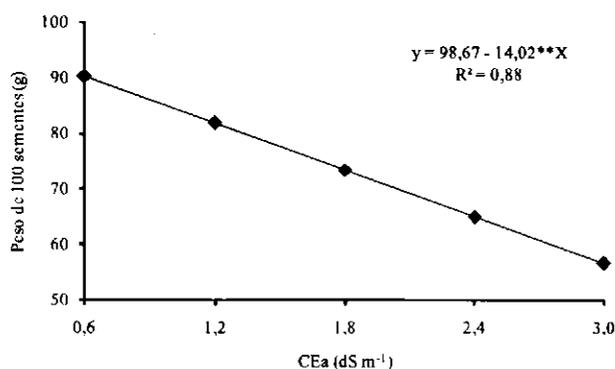


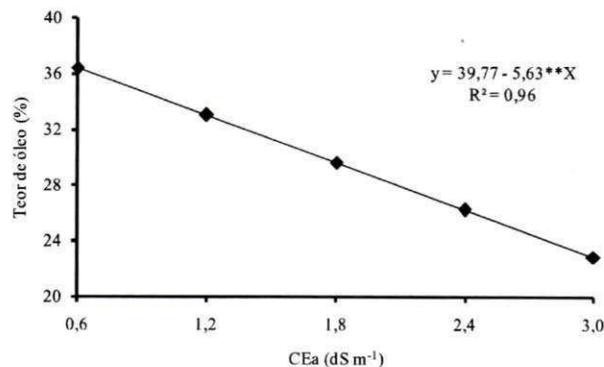
Figura 49. Peso de 100 sementes de pinhão-mansão irrigados com água de diferentes condutividades elétrica.

Conforme Rhoades et al. (2000), a salinidade afeta não apenas o desenvolvimento, mas também a produção das culturas, efeito que se manifesta sobre maneiras na redução da população e do desenvolvimento dos frutos, com sintomas similares ao do estresse hídrico; em geral, a salinidade do solo, causada pela irrigação com água salina como pela combinação de fatores água, solo e manejo das culturas, pode resultar em aumento nos dias para colheita, redução no número de frutos, no peso dos frutos e sementes, influenciando, diretamente nos componentes de produção.

No teor de óleo das sementes de pinhão-mansão o efeito foi negativo e significativo pela salinidade da água de irrigação ajustando-se melhor ao modelo linear, apresentando o menor valor estimado de 23% no tratamento com condutividade elétrica da água de irrigação de 3,0 dS m<sup>-1</sup> (Figura 50).

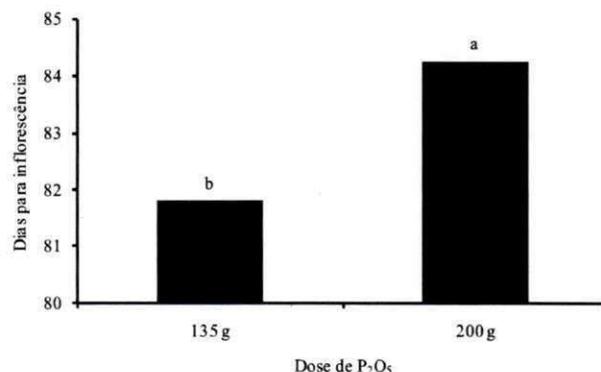
Observa-se decréscimo de 14,2% por aumento unitário da CEa no teor de óleo das sementes. Os teores obtidos com as condutividades elétricas da água de irrigação de 0,6 e 1,2 dS m<sup>-1</sup> foram 36 e 33% de óleo e concordam com as observações obtidas por Sato et al. (2009), que estudando a cultura do pinhão-mansão para fins de uso como combustíveis afirmaram que o teor médio de óleo das sementes são de 35% em

condições de campo. Foi constatado que a partir do nível de salinidade da água de irrigação de  $1,8 \text{ dS m}^{-1}$  a concentração de óleo na semente foi inferior a 30%.



**Figura 50.** Teor de óleo de sementes de pinhão-mansão irrigados com água de diferentes condutividades elétrica

As doses de fósforo afetaram a quantidade de dias para o pinhão-mansão emitir suas primeiras inflorescências (Figura 51). As plantas que receberam a menor dose de fósforo (135 g) emitiram suas inflorescências em média com 82 dias e as plantas que foram adubadas com a maior dose (200 g) foram 84 dias após a poda.



**Figura 51.** Dias para emissão da inflorescência de pinhão-mansão sob doses de fósforo.

Embora a diferença seja pequena, ocorreu efeito significativo. Apesar disto, outros componentes de produção como número de cachos por planta que apresentou média de 10 cachos planta<sup>-1</sup>, número de sementes com 238 unidades, peso de 100 sementes com 73,43g e teor de óleo com 30% não foram afetados significativamente pelas doses de fósforo. Este resultado não foi o esperado com a maior disponibilidade (200 g) de fósforo as plantas, pois este elemento é essencial ao crescimento da planta, que consome grande quantidade de energia para garantir o armazenamento de óleo nas sementes (FERREIRA et al., 2004).

Este resultado discorda de Severino et al. (2006), que ao avaliarem a adubação com macro e micronutrientes na cultura da mamona, cultura da mesma família em estudo, observaram aumento consistente na produtividade e teor de óleo foi influenciado positivamente pelo aumento nas doses de fósforo que variaram de 0 e 72 g planta<sup>-1</sup>. Brandão et al. (2009) analisando o efeito da adubação fosfatada sobre a produtividade do algodoeiro, cultura oleaginosa, aumento significativo com o incremento das doses de fósforo fornecida pela adubação.

À medida que aumentou o peso de 100 sementes aumentou também o teor de óleo, demonstrando efeito direto e correlação positiva ( $R^2 = 0,98$ ), indicando que uma variável depende da outra. Spinelli et al. (2010) também encontrou efeito direto e positivo em pesquisa com pinhão-manso e afirma que há correlação entre o teor de óleo, peso de sementes e volume da copa de pinhão-manso, conjunto esse que também pode ser chamado de compostos primários de produção. Sousa et al. (2011) observaram trabalhando com diferentes lâminas (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 de ETc) de reposição hídrica também correlação positiva e significativa entre peso de 100 sementes e teor de óleo nas sementes de pinhão-manso. Embora haja na literatura trabalhos a respeito do efeito da salinidade sobre várias culturas como algodão, girassol e mamona, o efeito sobre o teor de óleo ainda não havia sido relatado na cultura do pinhão-manso.

#### **IV.6.4. Conclusões**

O número de dias para emitir a inflorescência, número de cachos planta<sup>-1</sup>, produtividade de grãos e o teor de óleo das sementes de pinhão-mansão são afetados negativamente pelo aumento da salinidade da água de irrigação.

A cultura do pinhão-mansão irrigado com água de condutividade elétrica de 1,3 dS m<sup>-1</sup>, atinge em média perda de 10% da massa e em contra partida, do teor de óleo em suas sementes.

Há correlação positiva entre o peso de 100 sementes e o teor de óleo das sementes de pinhão-mansão.

Só o número de dias para emissão da inflorescência é afetado pelas doses de fósforo.

#### IV.7. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE PLANTAS DE PINHÃO-MANSO IRRIGADAS COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS E SALINAS

**RESUMO:** O trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar repostas fisiológicas de plantas de pinhão-manso irrigadas com água residuária e água salinizada. Foram avaliados massa da matéria seca das folhas e área foliar, fotossíntese e trocas gasosas, perfil de carboidratos e perfil de compostos nitrogenados. O trabalho foi conduzido em blocos ao acaso, com dois níveis de salinidade (0,6 e 2,4 dS m<sup>-1</sup>) e dois níveis de irrigação com água residuária (50% e 100% da capacidade de campo). O tratamento com lâmina d'água de 100% com condutividade elétrica de 0,6 dS m<sup>-1</sup> foi adotado como controle. Os resultados evidenciam que o tratamento com água salinizada causou estresse salino significativo, a irrigação com 50% de água residuária culminou em estresse hídrico e a irrigação com 100% originou estresse moderado nas plantas. Os efeitos dos estresses foram caracterizados por redução na massa e área foliar, fotossíntese, condutância estomática, transpiração e conteúdo de sacarose. As folhas das plantas estressadas apresentaram aumentos nos conteúdos de açúcares redutores, aminoácidos livres, N total, prolina e glicina betaína. Plantas adultas de pinhão-manso são mais sensíveis ao excesso de sais na água de irrigação do que aos resíduos contidos em água residuária tratada.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L. Água residuária. Salinidade. Fotossíntese. Balanço de carbono e nitrogênio

**PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF PLANTS PHYSIC NUT IRRIGATED  
WITH SALINE AND WASTEWATER**

**ABSTRACT:** The study was to evaluate physiological responses of plants of physic nut irrigated with saline water and wastewater. We evaluated dry matter of seeds, weight of leaves and leaf area, photosynthesis and gas exchange, carbohydrate profile and profile of nitrogenous compounds. The study was conducted in a randomized block design with two levels of salinity (0.6 and 2.6 dS m<sup>-1</sup>) and two levels of irrigation with wastewater (50% and 100% of field capacity). Treatment with a water depth of 100% with electrical conductivity of 0.6 dS m<sup>-1</sup> was used as control. The results show that treatment with water salinity salt stress caused significant irrigation with 50% of wastewater caused water stress and irrigation with 100% caused moderate stress in plants. The effects of stress were characterized by mass and reduction in leaf area, photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and sucrose content. The leaves of stressed plants showed increases in content of reducing sugars, amino acids, total N, proline and glycine betaine. Adult plants of physic nut are more sensitive to excess salts in irrigation water than to waste contained in treated wastewater.

**Key words:** *Jatropha curcas* L. Wastewater. Saline. Photosynthesis. Carbon and nitrogen balance

#### IV.7.1. Introdução

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) é uma cultura largamente encontrada em regiões áridas e semiáridas da América do Sul e em regiões tropicais de todo o mundo (KUMAR et al., 2008). É uma espécie oleaginosa, que contém em suas sementes alto teor de óleo de boa qualidade o qual pode ser facilmente convertido em biodiesel (SILVA et al., 2010b). Esta espécie cresce naturalmente em áreas marginais frequentemente submetidas à seca, solos de baixa fertilidade e alta temperatura, condições nas quais a maioria das outras espécies agrícolas não seria capaz de sobreviver (FRANCIS et al., 2005). Devido a esses fatores, o pinhão-mansão vem sendo considerado como cultura promissora (ARRUDA et al., 2004).

Para ampliar a fronteira agrícola para áreas marginais, tornam-se necessário o emprego de culturas resistentes, e a utilização sustentável de fontes existentes, tais como águas de qualidade inferior. Fatores de estresses abióticos como a salinização do solo, elevada evapotranspiração, baixa pluviosidade e baixa qualidade das águas, são comumente encontrados nas regiões semiáridas tropicais (SILVEIRA et al., 2010b). Para mitigar a escassez dos recursos hídricos nessas áreas, diversos estudos têm demonstrado a possibilidade de utilização de águas de qualidade inferior, como a descarga do esgoto bruto, como alternativa para a agricultura (FERREIRA et al., 2005; AZEVEDO et al., 2007; KUMAR et al., 2008; SOUSA et al., 2011).

A salinidade e o déficit hídrico afetam negativamente a assimilação fotossintética do CO<sub>2</sub> pelas plantas, diminuindo o crescimento e a produtividade (MUNNS et al., 2006). Esses efeitos na fotossíntese podem ocorrer por meio da redução na disponibilidade de CO<sub>2</sub> causada pela limitação da difusão estomática, alterações no balanço NADP<sup>+</sup>/NADPH ou restrições no aparato fotoquímico (FLEXAS et al., 2007). Por isso, com a redução da assimilação de CO<sub>2</sub> poderá ocorrer um desbalanço no perfil de carboidratos e de compostos nitrogenados (SOUZA et al., 2004). De modo geral, a redução na fotossíntese causada por salinidade e seca pode causar diminuição nos níveis de sacarose, aumentando o conteúdo de açúcares redutores, enquanto o conteúdo de amido pode aumentar ou diminuir, dependendo da espécie vegetal (PAUL & FOYER, 2001).

A acumulação de compostos orgânicos osmoticamente compatíveis sob condições de estresse reflete a habilidade de algumas espécies se ajustar osmoticamente (SILVA et al., 2010b). Em plantas jovens de pinhão-mansão expostas ao estresse hídrico observou-se significativa contribuição de açúcares solúveis e compostos inorgânicos (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>) no

ajustamento osmótico (SILVA et al., 2010b). Quando expostas ao estresse salino, essas plantas utilizam intensamente os próprios íons salinos  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  juntamente com glicina betaína para a redução do potencial osmótico (SILVA et al., 2009b). Esses solutos osmoticamente compatíveis provocam diminuição no potencial hídrico da planta, facilitando a absorção de água e protegendo as estruturas celulares (MUNNS et al., 2006).

A utilização de águas marginais (contendo sais e as provenientes de esgotos públicos) pode ser uma alternativa viável para a expansão sustentável do cultivo de pinhão-manso e de outras culturas no semiárido brasileiro. A respeito de alguns trabalhos com plantas jovens mostrarem que essa espécie é relativamente sensível a salinidade (SILVA et al., 2009b; SILVA et al., 2010a; SILVA et al., 2011) ainda não existe praticamente nenhuma pesquisa na fase de produção. Por outro lado, trabalho recentemente publicado indicou que essa espécie apresentou boa resposta a irrigação com água residuária tratada proveniente de esgoto doméstico (SOUSA et al., 2011).

Para que possa haver um efetivo manejo do pinhão-manso irrigado com águas marginais são necessários estudos envolvendo sua resposta fisiológica e esse fatores externos. Neste contexto, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar e comparar os efeitos da irrigação com água salina e residuária sobre as respostas fisiológicas de plantas adultas de pinhão-manso envolvendo trocas gasosas e fotossíntese, perfil de carboidratos e de nitrogênio associados com crescimento.

#### IV.7.2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, PB (07°15'18''S e 35°52'28''W). O clima é do tipo Csa, de acordo com a classificação de Köppen adaptada ao Brasil (COELHO & SOCIN, 1982).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com dois níveis de salinidade da água de irrigação (0,6 e 2,4 dS m<sup>-1</sup> de condutividade elétrica) e dois níveis de irrigação com água residuária (50 e 100% de reposição da capacidade de campo), perfazendo quatro tratamentos com quatro repetições. A salinidade da água salina (tratamento SAL) foi obtida artificialmente com o emprego de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O na proporção 7:2:1 na base equivalente químico. A irrigação foi realizada na base de 100% da capacidade de campo. O tratamento com irrigação de 100% da capacidade de campo com água de abastecimento apresentando 0,6 dS m<sup>-1</sup> foi adotado como controle.

A parcela experimental foi representada por uma planta por cada recipiente de plástico de 200 L com lisímetros de drenagem. O material de solo utilizado foi classificado como Argissolo Acizentado Eutrófico (SANTOS et al., 2006), textura franco-arenosa, não salino e não sódico retirado a uma camada de 0 – 30 cm proveniente do distrito de São José da Mata em Campina Grande, PB. Os ensaios foram implantados em abril de 2007 em espaçamento de 1,6 x 1,7 m entre cada recipiente.

As variáveis analisadas nesta pesquisa se referem ao quarto ano de cultivo do pinhão-manso. Ao final do terceiro ano de produção, as plantas foram submetidas ao estresse hídrico por 35 dias sem irrigação, seguidas de uma poda foliar com a finalidade de induzir o desfolhamento e posterior uniformização do stand de plantas. Posteriormente se incorporou ao solo 1 kg de húmus de minhoca associado com 80 g planta<sup>-1</sup> de N, 62 g planta<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 135 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> planta<sup>-1</sup>. Esta aplicação foi fracionada mensalmente.

As irrigações foram realizadas ao final da tarde com turno de rega de três dias e fixada uma fração de lixiviação em 0,15 nas parcelas com água salina, para evitar grandes concentrações de sais no solo e 0,05 para lâmina de reposição hídrica (50% da capacidade de campo = L50) e 1,00 para garantir 100% da capacidade de campo (L100). A água residuária foi proveniente do riacho Bodocongó e apresentou pH, 7,5; CE, 1,3 dS m<sup>-1</sup>; P, K, N total, Ca e Mg, respectivamente, 6,7, 31,8, 59,7, 42,9 e 41,2 mg L<sup>-1</sup>, após tratamento em um reator tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) onde sofreu tratamento biológico anaeróbico.

A área foliar total foi estimada com base em uma amostra de no mínimo de 25% do número de folhas da planta utilizando-se a metodologia proposta por Severino et al. (2007). Para as amostragens destrutivas (análises químicas e bioquímicas) foram utilizado o limbo foliar de folhas normais, saudáveis, sem deficiência nutricional aparente ou ataque de pragas e doenças, localizado entre a quarta e a quinta folha abaixo da inflorescência. As massas de folhas secas foram obtidas a partir da coleta de todas as folhas de cada planta ao final do quarto ano.

O material foi submetido a secagem em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 60 °C por 72 horas. Para determinação das análises bioquímicas as amostras foram secadas em liofilizador até secagem completa visando a prevenção dos processos metabólicos; após a secagem todo o material foi pesado em balança analítica e sua massa seca foliar total foi determinado.

A taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (P<sub>N</sub>), condutância estomática (gs) e a transpiração (E) foram mensuradas com o uso de um medidor portátil de trocas gasosas (IRGA, mod. LCI System ADC, Hoddesdon, UK), na quarta folha totalmente expandida a partir do ápice da planta. A densidade de fluxo dos fótons fotossinteticamente ativos foi controlada na intensidade de 1400 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> utilizando uma fonte de luz acoplada ao aparelho.

A determinação dos açúcares solúveis totais foi realizada colorimetricamente de acordo com metodologia proposta por Dubois et al. (1956). A extração foi realizada a partir de folhas previamente liofilizadas, em solução de MCW 12:5:3 (metanol, clorofórmio e água). Para determinação de amido, foram realizadas duas extrações consecutivas do material liofilizado utilizando-se o mesmo extrator, em banho maria a 80 °C por 30 min. Em seguida foi realizado-se um novo ciclo de duas extrações consecutivas com ácido perclórico 30% por 30 min, a 25 °C, seguidas de centrifugações a 2000 rpm por 10 min. Os sobrenadantes das duas extrações consecutivas com ácido perclórico foram reunidos para a obtenção do extrato total. A partir desse extrato total foi realizada a determinação de acordo com Dubois et al. (1956).

Para determinação de sacarose, o material vegetal liofilizado foi homogeneizado em solução de MCW 12:5:3 e mantido sob agitação por 30 min. As leituras de absorbância foram realizadas em espectrômetro a 620 nm (van HANDEL, 1968). O conteúdo de açúcares redutores foi estimado por meio da diferença entre o teor de sacarose e o conteúdo de açúcares solúveis totais. Os teores dos carboidratos totais não estruturais foram estimados através do somatório dos açúcares solúveis totais e amido.

Para as determinações dos teores de aminoácidos livres, nitrato e amônio, realizou-se extração a quente em banho maria a 100 °C utilizando-se água deionizada. Os teores de nitrato foram mensurados de acordo com metodologia proposta por Cataldo et al. (1975). A determinação de amônio foi realizada através da metodologia proposta por Weatherburn, (1967). A determinação dos teores de aminoácidos livres foi realizada como sugerido por Yemm & Cocking, (1955), e a determinação do nitrogênio total de acordo com Baethgen & Alley (1989). O conteúdo de prolina foi determinado seguindo a metodologia proposta por Bates et al. (1973). Para determinar o conteúdo de glicina betaína, foi utilizada a metodologia proposta por Grieve & Grattan (1983).

A extração para as determinações dos teores de sódio e potássio foi realizada em banho maria em água fervente. Durante uma hora em tubos fechados. Os teores de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> foram mensurados por fotômetro de chama (MICRONAL B462) a partir de curvas padrão obtidas com concentrações conhecidas de sódio e potássio.

### IV.7.3. Resultados e Discussão

Quando expostas às condições de estresse salino ( $2,4 \text{ dS m}^{-1}$  de condutividade elétrica na água de irrigação), déficit hídrico (irrigação com água residuária em 50% da capacidade de campo) e irrigação plena (100% da capacidade de campo) com água residuária as plantas de pinhão-mansó apresentaram decréscimo significativo na área foliar e massa seca foliar, em comparação com controle (Figura 52A e B). O tratamento com irrigação de 50% da capacidade de campo (L50%) mostrou menor área foliar ( $0,65 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ ) comparada com o controle ( $3,29 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ ). Entre o tratamento com água salina (SAL) e a lâmina de 100% com água residuária (L100%) não houve diferença significativa entre eles.

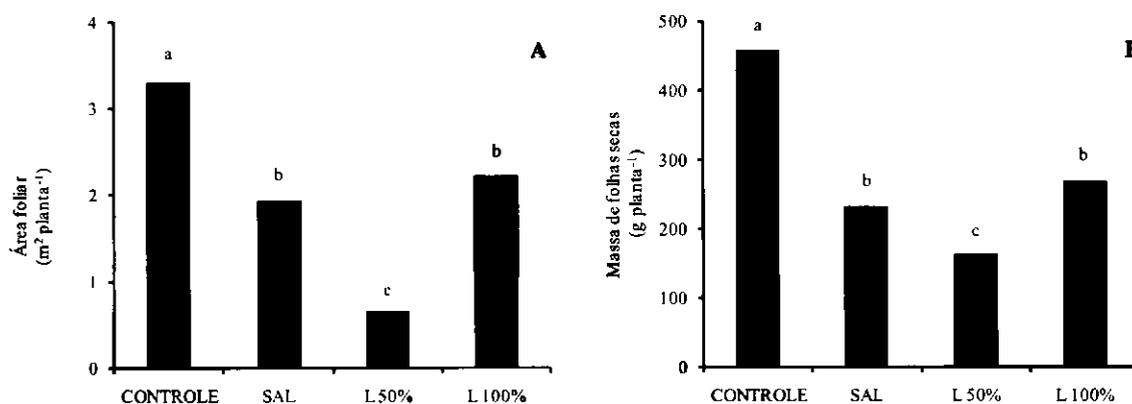


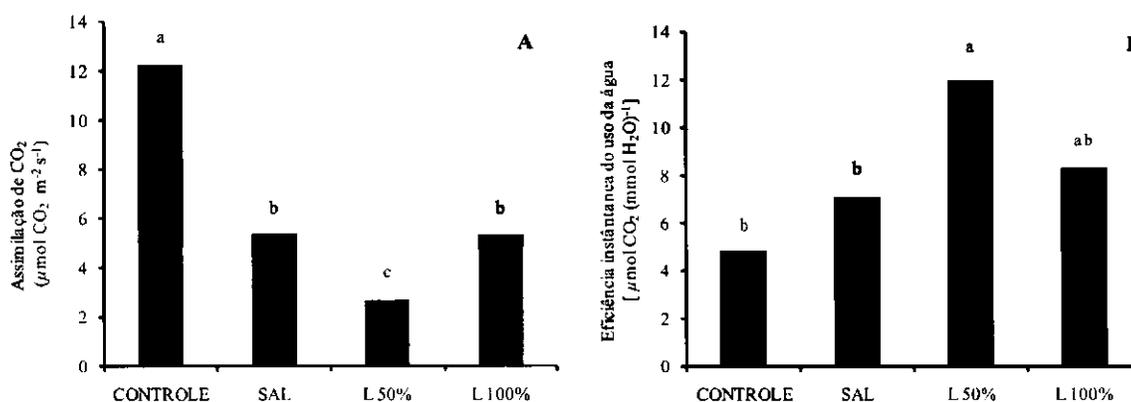
Figura 52. Área foliar (A) e massa seca das folhas (B) de plantas de pinhão-mansó com quatro meses após a poda<sup>1</sup>

Interessante notar que a água residuária contém uma concentração considerável de íons, como demonstrado pela condutividade elétrica da solução drenada CEs<sub>d</sub>:  $17,71 \text{ dS m}^{-1}$ . Essa redução na área foliar causada pelas condições de estresse deve ser um efeito indireto ocasionado pela redução na pressão de turgescência, o que diminui o grau de extensibilidade da parede celular, portanto, resultando, portanto, na redução da atividade fotossintética por áreas, restringindo assim a taxa de desenvolvimento (LAUCHLI & EPSTEIN, 1990).

<sup>1</sup> (CONTROLE: planta irrigada com 100% da capacidade de campo com água de abastecimento; SAL: corresponde à planta irrigada com 100% da capacidade de campo com solução de  $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ ; L 50%: planta irrigada com 50% da capacidade de campo com água residuária e L 100%: planta irrigada com 100% da capacidade de campo com água residuária)

Quanto ao decréscimo da matéria seca, o tratamento L 50% foi o que mais afetou esse parâmetro em folhas em pinhão-manso com valores correspondentes a 49, 64 e 41% em sal, L 50% e L 100% respectivamente (Figura 52B), confirmando mais uma vez o efeito da concentração salina no tratamento L 100%, que apresentou condutividade de  $17,71 \text{ dS m}^{-1}$ . Entre os tratamentos sal e L 100% não houve diferença significativa para a massa de massa seca. Uma das primeiras respostas das plantas submetidas ao estresse salino é a redução na taxa de crescimento foliar, reduzindo a área foliar disponível para a fotossíntese e, por conseguinte a massa seca do tecido (TERRY & WALDRON, 1984), como evidenciado neste trabalho.

A assimilação de  $\text{CO}_2$  foi atenuada significativamente em plantas submetidas ao estresse de déficit hídrico e salinidade, com perda de 56 e 78% respectivamente (Figura 53A).

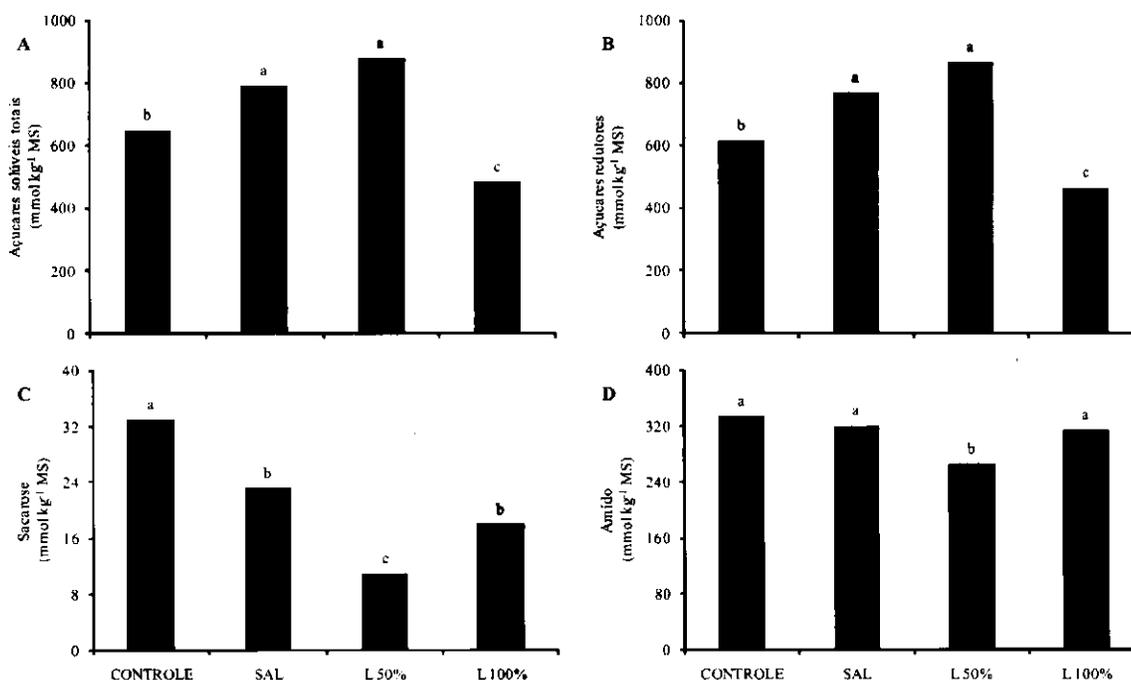


**Figura 53.** Taxa de fotossíntese (A) e eficiência instantânea do uso da água (B) em plantas de pinhão-manso com quatro meses após a poda.

Propõe-se que a redução na assimilação de  $\text{CO}_2$ , para as plantas submetidas tanto à condição de estresse salino e de déficit hídrico, se deu principalmente pela restrição estomática, levando a uma concentração menor interna de  $\text{CO}_2$ .

Segundo Machado et al. (2009) as plantas tendem a reduzir a perda de água para a atmosfera (transpiração) e assim evitar a desidratação excessiva em condição de déficit hídrico. Esta resposta adaptativa é promovida pelo fechamento parcial dos estômatos, primeira linha de defesa, que também afeta a disponibilidade de substrato ( $\text{CO}_2$ ) para a fotossíntese. A diminuição da condutância estomática acarretou em menor transpiração nas plantas submetidas ao déficit hídrico, o que ocasionou maior eficiência do uso da água atingindo  $11,98 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$  (Figura 53B), alcançando 148% superior ao obtido no controle.

Os teores de açúcares solúveis totais foram maiores nas plantas cultivadas com o tratamento salino e L 50%, com aumento de 22 e 35%, respectivamente, sendo o menor teor nas plantas cultivadas no tratamento L 100%, com um decréscimo de 34% (Figura 54A). Este mesmo comportamento é dado para os açúcares redutores, acompanhando os açúcares solúveis totais (Figura 54A e B).



**Figura 54.** Açúcares solúveis totais (A), açúcares redutores (B), sacarose (C) e amido em folhas de plantas de pinhão-manso com quatro meses após a poda. (identificação na Figura 52)

O teor de sacarose, açúcar não redutor, foi menor para o tratamento de sal, L 50% e L 100%, com quedas respectivas de 43, 67 e 46% (Figura 54C); já para os teores de amido, um carboidrato de reserva, só ocorreu queda significativa para o tratamento de seca L 50%, com queda de 26% (Figura 54D). A partir desses resultados infere-se que não ocorreu mobilização de amido para o tratamento salino, mas, enquanto, ocorreu um balanço de mobilização de açúcares redutores e não redutores. Já para o tratamento de seca (L 50%) ocorre uma mobilização das reservas de amido para um possível aumento dos açúcares redutores, além da mobilização de sacarose. Esse balanço nos teores de carboidratos pode estar relacionado a um possível mecanismo de ajustamento osmótico realizado pelas plantas de pinhão-manso quando submetidas aos estresses de seca e de salinidade (SILVA et al., 2009c).

Os teores de aminoácidos livres totais foram aumentados 2,5 vezes nas plantas cultivadas em condição salina (Figura 55A). Tal incremento nos teores de aminoácidos pode ser causado provavelmente pela degradação de proteínas devido à condição de estresse ou redução da síntese protéica. Dados semelhantes obtiveram Lacerda et al. (2003), em plantas de sorgo forrageiro, Silveira et al. (2003), em plantas de cajueiro e por Silva et al. (2009c) em plantas de pinhão-mansó expostas a salinidade.

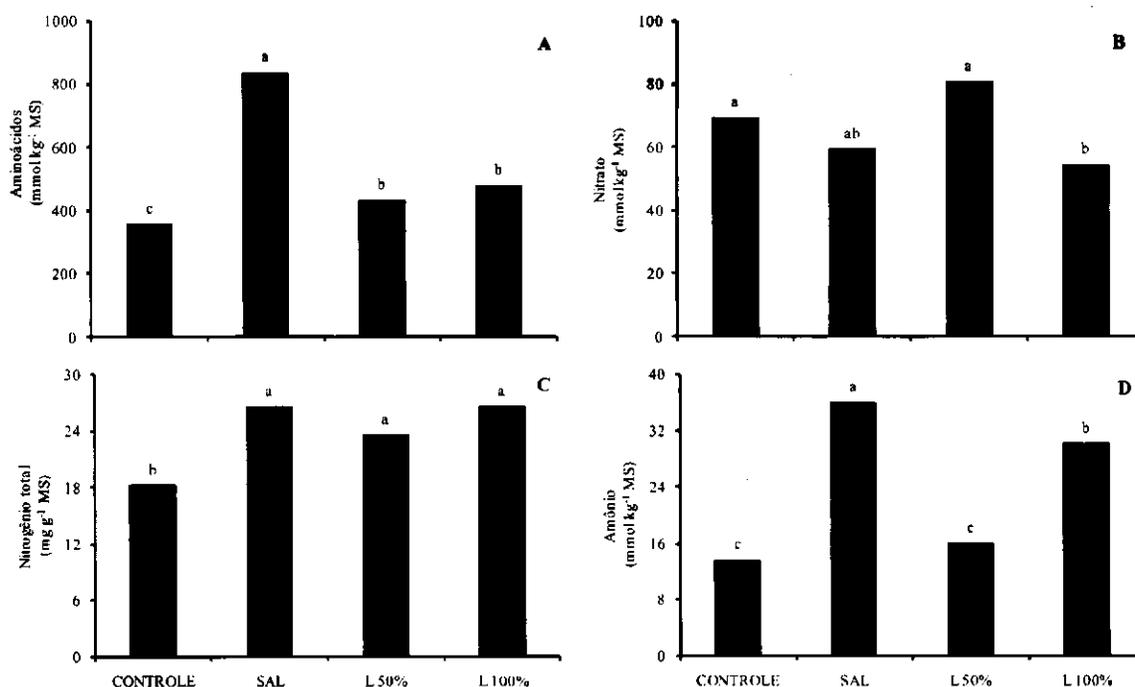


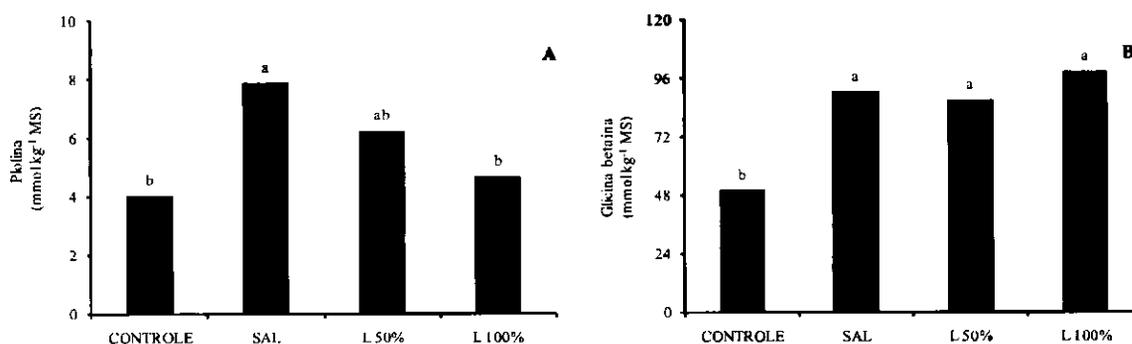
Figura 55. Aminoácidos (A), nitrato (B), nitrogênio total (C) e amônio (D) em folhas de plantas adultas de pinhão-mansó com quatro meses após a poda

Os teores de nitrato foram menores apenas para o tratamento L 100% (Figura 55B). Meloni et al. (2004) observaram diminuições nos teores de nitrato em plantas de algaroba sob estresse salino. Esta diminuição deve estar relacionada ao antagonismo por Cl<sup>-</sup> durante a absorção (WHITE & BROADLEY, 2001).

Os conteúdos de nitrogênio total foram elevados em todas as condições de estresse (Figura 55C), o que pode demonstrar mais uma vez a diminuição na síntese protéica, aumento da degradação de proteínas e queda na assimilação de nitrogênio causado pelos efeitos dos estresses de seca e de salinidade (MARSCHNER, 1995). Os teores de amônio foram significativamente aumentados nas plantas expostas a condição salina e de água residuária (sal e L 100%, respectivamente), este aumento pode estar

relacionado com um processo de senescência, visto que o amônio não se acumula no tecido foliar devido à sua toxidez.

O conteúdo de prolina aumentou com os tratamentos de salinidade e seca (sal e L 50%) em relação ao controle, com 95 e 65% respectivamente. O tratamento L 100% não apresentou aumento significativo nos teores de prolina (Figura 56A). Apesar desse aumento nas plantas sob condição de estresse, a contribuição relativa desse soluto compatível para um ajustamento osmótico pode ser tomada como desprezível. O papel efetivo da prolina nas plantas de pinhão-mansão submetidas ao estresse salino pode ser decorrente de distúrbios metabólicos nas rotas metabólicas dos aminoácidos e proteínas (SILVEIRA et al., 2003), ou de caráter genético adaptativo. Em razão das concentrações muito baixas atingidas por esse aminoácido, é mais provável que o aumento na acumulação tenha sido induzido pelos danos causados pelo NaCl (SILVA et al., 2009c; SILVEIRA et al., 2009).

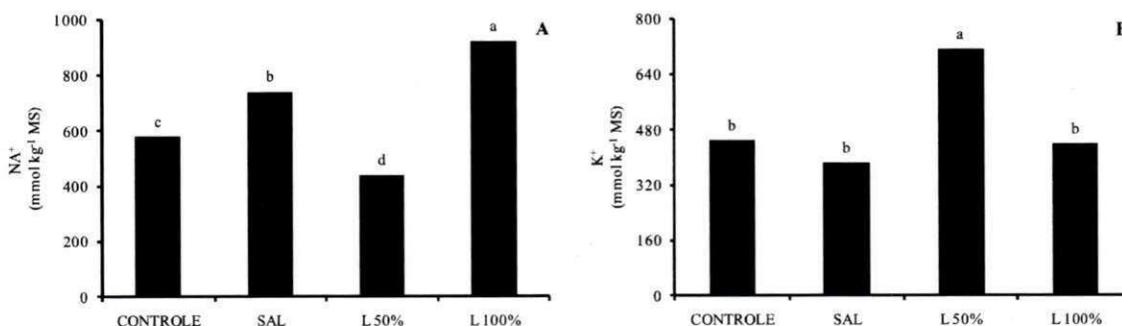


**Figura 56.** Prolina (A) e glicina betaina (B) em folhas de plantas de pinhão-mansão com quatro meses após a poda

Os teores de glicina betaina foram superiores nos tratamentos de sal, L 50% e L 100%, na ordem de 78, 74 e 97%, respectivamente quando comparado às plantas controle (Figura 56B). Em virtude das respectivas concentrações no tecido, esse soluto pôde contribuir para um possível ajustamento osmótico. Como a glicina betaina está situada principalmente no citosol e cloroplastos, que ocupam volume de 5 a 10% do volume celular, sua concentração pode estar subestimada em relação às frações encontradas para este soluto, e pode ser até dez vezes maior que os valores indicados na Figura 56B (SILVA et al., 2009c). É provável que as folhas de pinhão-mansão utilizem este soluto compatível protetor de maneira constitutiva, para auxiliar o

ajustamento osmótico de citosol e organelas, além da proteção de estruturas celulares, como membranas (SAKAMOTO & MURATA, 2002).

Os teores de sódio foram maiores no tratamento L 100%, com um aumento de 59% em relação ao controle, enquanto o tratamento salino apresentou um aumento de 28% (Figura 58A). Interessante frisar que a lâmina L 100% com água residuária leva a uma condição estressante para a cultura devido à alta concentração de sódio, maior que o próprio tratamento salino, ocasionando alta condutividade elétrica da solução do solo ( $17,71 \text{ dS m}^{-1}$ ); já o tratamento L 50% apresentou queda de 32% quando comparado ao tratamento controle. Os teores de potássio possuem comportamento inverso ao de sódio para os respectivos tratamentos, com aumento para o tratamento L 50% e sem diferença significativa para os tratamentos sal e L 100% (Figura 57B). Essas reduções nas concentrações de potássio estão relacionadas com o antagonismo deste íon com o sódio.



**Figura 57.** Sódio (A) e potássio (B) em folhas de plantas de pinhão-manso com quatro meses após a poda

Autores como Maathuis & Amtmann, (1999) têm correlacionado a resistência à salinidade com a manutenção de uma nutrição potássica adequada dentro de uma planta, podendo a relação  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  ser utilizada como critério de seleção de materiais sensíveis e resistentes ao estresse salino. Múltiplos sistemas de absorção com seletividades para potássio e sódio podem refletir a necessidade da planta em coordenar o influxo desses cátions (SCHACHTMAN & LIU, 1999).

#### **IV.7.4. Conclusões**

Plantas de pinhão-mansó irrigadas com 100% da capacidade de campo com água residuária apresentam redução na produção de massa e área foliar comparando-se com as plantas irrigadas com água de abastecimento.

Esta espécie apresenta a capacidade de se ajustar osmoticamente a partir da síntese de glicina betaína. Contudo, demonstra que o acúmulo de prolina no tecido não é efetivo para o ajustamento osmótico devido aos seus baixos teores acumulados no tecido.

#### IV.8. IMPACTO DO USO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS SOBRE O SOLO CULTIVADO COM PINHÃO-MANSO

**RESUMO:** O uso dos efluentes de esgoto doméstico como fonte de água e nutrientes na agricultura (via irrigação) tem sido, em diversos locais, uma alternativa viável para a disposição das águas residuárias no ambiente. Assim, o presente estudo tem por objetivo avaliar os prováveis impactos da aplicação do efluente doméstico, após seu tratamento, nos atributos químicos do solo, em área cultivada com pinhão-manso. Os tratamentos consistiam em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator a reposição do consumo hídrico com água residuária (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 do consumo hídrico da planta) e o segundo fator as doses de  $P_2O_5$  (135 e 200g planta<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) com quatro repetições. O tempo de experimento durou quatro anos de ciclo produtivo da cultura do pinhão-manso. As amostragens de solo foram retiradas da camada de 0-20 cm e determinado pH; a condutividade elétrica do efluente (CEe) e as concentrações de K, Ca, Mg, Na, Cl,  $CO_3$ ,  $HCO_3$  e  $SO_4$ . A aplicação de lâminas de reposição hídrica com efluente doméstico no solo ocasionou elevação no pH conforme aumenta a disponibilidade hídrica, no entanto, o efeito sobre o potássio foi inverso. Com relação às doses de fósforo no perfil do solo, não se detectou efeito sobre os elementos em estudo.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L. Dinâmica de nutrientes. Reúso. Semiárido, Condutividade elétrica

## IMPACT OF USING WASTEWATER ON THE SOIL CULTIVATED WITH PHYSIC NUT

**ABSTRACT:** In many studies worldwide the use of sewage effluents as water and nutrient sources in agricultural irrigation have been introduced as a viable alternative for wastewater destination in the environment. Thus, this study aimed to evaluate the likely impacts of implementation of the wastewater after treatment in soil chemical properties in the area cultivated with physic nut. The treatments consisted of 5 x 2 factorial design, the first factor being the replacement of water consumption for wastewater (0.25, 0.50, 0.75, 1.00 and 1.25 of water consumption of the plant) and the second factor doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (135 and 200 g plant<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) with four replications. The experimental period lasted four years of productive cycle of the crop of physic nut. The soil samples were taken from 0-20 cm and determined pH, electrical conductivity of the effluent (ECe) and the concentrations of K, Ca, Mg, Na, Cl, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> and SO<sub>4</sub>. The application of fluid replacement depth with domestic wastewater in the soil caused an increase in pH with increasing water availability, however, the effect on potassium was reversed. With respect to levels of phosphorus in the soil profile, there was no effect on the elements under study

**Key words:** *Jatropha curcas* L. Nutrient dynamics. Reuse. Semi-arid. Electrical conductivity

#### **IV.8.1. Introdução**

A água é um recurso cada vez mais escasso, seja pelo crescimento populacional, com aumento da demanda, ou pelo comprometimento do uso, em especial pela poluição dos mananciais (SOUSA et al., 2011). Não obstante, nas regiões áridas e semiáridas, a água tornou-se fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agropecuário. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos procuram continuamente novas fontes de recursos para complementar a disponibilidade hídrica existente, em todo o mundo, tem-se aumentado a necessidade de e utilizar águas de qualidade inferior na agricultura, o que torna o uso de águas residuárias uma fonte hídrica para a expansão das áreas irrigadas. Assim, a técnica de reúso tende a ser um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil e no mundo nos próximos anos (NOBRE et al., 2008).

O uso de efluentes de esgoto na irrigação é prática antiga e popular na agricultura. No entanto, no Brasil este método ainda é recente (FONSECA et al., 2005). A irrigação com efluente de esgoto doméstico tem sido utilizada para três propósitos: (i) método de tratamento complementar para águas residuais, (ii) utilização de água marginal como fonte de água disponível para a agricultura - um setor exigente, aproximadamente 70% do uso da água de consumo no Brasil (HESPANHOL, 2003); (iii) utilização do esgoto tratado como fonte de nutrientes (VAZQUEZ-MONTIEL et al., 1996) associados com economia de fertilizantes e minerais com rendimentos elevados (FONSECA et al., 2007).

Como a maioria dos solos do semiárido disponíveis no Brasil é de baixa fertilidade, notadamente em fósforo (BARROS & NOVAIS, 1990), e sendo comum ainda a produção de mudas de essências florestais em recipientes cujos substratos são compostos de solo ou subsolo, faz-se urgente a determinação da quantidade de fósforo a ser fornecida em prol do melhor desenvolvimento das plantas.

Segundo Rajj (1991), o fósforo é, dentre os macronutrientes, aquele exigido em menor quantidade pelas plantas. Não obstante, trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Esta situação pode ser explicada pela carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros e, também, porque o elemento tem forte interação com o solo, sofrendo forte fixação. Para Malavolta (1989), as plantas não conseguem aproveitar mais que 10% do fósforo total aplicado, pois nos solos tropicais ácidos, ricos em ferro e alumínio, ocorre a adsorção deste elemento. O fósforo na planta estimula o crescimento das raízes, garantindo uma arrancada vigorosa.

Neste contexto, as plantas desempenham papel fundamental, isto é o de utilizar os nutrientes disponibilizados pelas águas residuárias, extraindo macro e micronutrientes, além do carbono (matéria orgânica) necessário ao seu crescimento, evitando seu acúmulo e a consequente salinização do solo e a contaminação das águas superficiais e subterrâneas (RIBEIRO et al., 2009a). Uma alternativa de cultivo com água de reúso são as oleaginosas, por não serem consumidas in natura e, sobretudo, por sua importância bioenergética.

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma cultura com amplo potencial agrícola, destacando-se pela alta produtividade e qualidade satisfatória do óleo para produção de biodiesel. Recentemente despertou interesse comercial no País, por apresentar características desejáveis tanto na renovação da base energética nacional como na agricultura familiar, favorecendo a permanência do homem no campo (DALLACORT et al., 2010).

Os solos da região semiárida nordestina do Brasil são deficientes em nutrientes, sobretudo N e P (MENEZES & SILVA, 2008); por outro lado, o emprego de fertilizantes químicos é muito reduzido na região, devido ao elevado custo e ao risco proporcionado pela irregularidade das chuvas (PEREZ-MARIN et al., 2006).

São praticamente inexistentes informações quanto aos potenciais impactos do uso de água residuária proveniente de esgoto doméstico sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos sob manejo agrícola na região semiárida. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar os prováveis impactos da aplicação do efluente doméstico, após seu tratamento, nos atributos químicos do solo, em área cultivada com pinhão-manso.

#### IV.8.2. Material e Métodos

O estudo foi realizado em ambiente protegido pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB com as seguintes coordenadas geográficas: 07°15'18'' de latitude Sul, 35°52'28'' de longitude Oeste e altitude média de 550 m. O clima da região é do tipo Csa, que representa clima mesotérmico, subúmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno conforme a classificação climática de Köppen, adaptada ao Brasil (COELHO & SONCIN, 1982).

Adotou-se o delineamento em blocos casualizados e os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 5 x 2, sendo o primeiro fator a reposição do consumo hídrico com água residuária (0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 do consumo hídrico da planta) e o segundo fator as doses de  $P_2O_5$  (135 e 200g planta<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) com quatro repetições. Os tratamentos de referência foram a reposição hídrica de 100% (1,00 RH) e a dose de 135 g por planta (TOMINAGA et al., 2007). A água residuária foi proveniente do riacho Bodocongó e apresentou pH, 7,5; CE, 1,3 dS m<sup>-1</sup>; P, K, N total, Ca e Mg, respectivamente, 6,7; 31,8; 59,7; 42,9 e 41,2 mg L<sup>-1</sup>, após tratamento em um reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

O ensaio foi iniciado em abril de 2007 em espaçamento de 1,6 x 1,7 m. Utilizaram-se recipientes plásticos com capacidade de 200 L e uma planta por vaso. O solo foi classificado como Argissolo Acinzentado Eutrófico (SANTOS et al., 2006), textura franco-arenoso, não salino e não sódico retirado de uma camada de 0 - 30 cm proveniente do distrito de São José da Mata em Campina Grande-PB.

Chama-se atenção para o fato de que o presente trabalho é continuação de experimentos anteriores realizados durante três anos. Durante este período de experimento foram seguidas as recomendações de adubação sugeridas por Novais et al. (1991) para ensaios conduzidos em ambientes protegidos. O solo foi adubado na fundação com 51 g de N, 345 g de  $P_2O_5$  e 57,5g de  $K_2O$ , utilizando-se como fonte de nutrientes uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, e para o segundo ano seguiu-se a mesma recomendação para adubação de cobertura.

No início do terceiro ano a recomendação de adubação adotada foi a sugerida por Tominaga et al. (2007) e os valores são 80 g de N, 62 g de  $K_2O$  e as duas doses de

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (135 e 200 g). Os valores dos fertilizantes foram fracionados e aplicados durante 12 meses utilizando-se as mesmas fontes de minerais.

Para o quarto ano (presente estudo) seguiu-se a mesma recomendação do ano anterior, no entanto, foram modificadas as fontes de nutrientes (N – nitrato de cálcio e K<sub>2</sub>O – nitrato de potássio). Entre o intervalo de um ciclo para outro foi promovido um estresse hídrico de 35 dias causando poda foliar, em que após este período, as folhas que não caíram foram retiradas.

As irrigações foram realizadas ao final da tarde seguindo turno de rega de três dias e fixada uma fração de lixiviação em 0,05 para a lâmina de reposição hídrica de 100% para confirmação da capacidade de campo neste tratamento. Durante a condução do experimento foram realizados os seguintes tratamentos culturais: eliminação manual das plantas daninhas, escarificação superficial do solo a cada duas irrigações e as pulverizações efetuadas uma vez por semana com produtos indicados para controle preventivo de doenças e pragas.

Para estimar os aportes de nutrientes às plantas via efluente, a cada evento de irrigação foi coletada uma alíquota de 50 mL. As alíquotas eram armazenadas em freezer e, no final de cada mês, preparava-se uma amostra composta, determinando-se o pH; a condutividade elétrica do efluente (CEe) e as concentrações de K, Ca, Mg, Na, Cl, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> e SO<sub>4</sub>, conforme método proposto por Silva (1999), calculando-se o produto da concentração de nutriente (Tabela 20).

**Tabela 20.** Composição química do efluente tratado utilizado na irrigação do pinhão-mansão durante o quarto ano de produção

pH	CEe dS m <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	Cl	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
		-----meq L <sup>-1</sup> -----							
7,79	1,39	0,64	1,56	2,12	6,25	6,67	1,89	6,12	Ausente

CEe – Condutividade elétrica do efluente tratado

Para avaliar os potenciais impactos dos tratamentos sobre os atributos químicos do solo, foram coletadas amostras de solo do perfil de 0 - 40 cm ao final do quarto ano de produção. As amostras foram analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande, onde se determinaram após extrato de saturação pH, Cl, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Ca, K, Ca, Mg, Na, carbono orgânico total – CO, CaCO<sub>3</sub>, H, Al e condutividade elétrica, determinada no extrato da pasta saturada do solo (CEes), conforme método sugerido por Silva(1999).

Nas análises estatísticas utilizou-se o software SISVAR (FERREIRA, 2003), e a interpretação dos resultados deu-se por meio de análise de variância (teste F), em nível máximo de significância de 5 %, determinando-se a influência dos tratamentos nos atributos químicos do solo em cada lâmina e nos casos de significância, realizou-se análise de regressão polinomial linear e quadrática. Constatados efeitos significativos de tratamento, realizou-se o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação das médias.

### IV.8.3. Resultados e Discussão

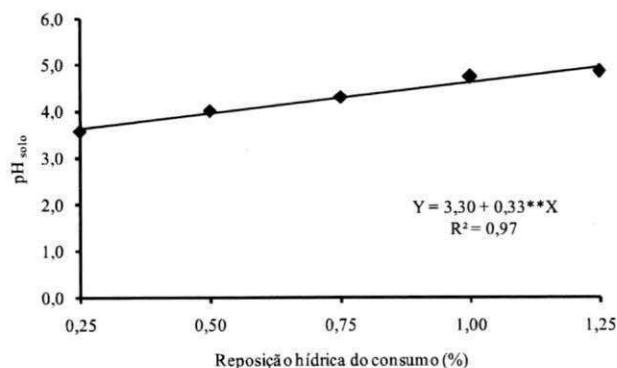
Observam-se na Tabela 21 as análises de variância para pH, condutividade elétrica (CE), teores de cloro e carbonato.

**Tabela 21.** Resumo da análise de variância para pH, condutividade elétrica (CE), teores de cloro e carbonato em solo cultivado com pinhão-mansão e irrigado com água residuária em diferentes reposições hídricas e doses de fósforo

Causa de Variação		Quadrados Médios			
		pH	CE	Cl	HCO <sub>3</sub>
Reposição Hídrica (RH)	4	2,24**	1,51ns	33,03ns	0,70ns
R. Linear	1	8,73**	3,48ns	28,80ns	0,08ns
R. Quadrática	1	0,16ns	1,46ns	9,34ns	0,33ns
Desvio Regressão	2	0,04ns	0,55ns	47,00ns	1,20ns
Dose de Fósforo (DP)	1	0,26ns	0,07ns	33,16ns	0,15ns
Interação RH x DP	4	0,38ns	0,07ns	5,20ns	0,16ns
Bloco	3	0,01ns	2,44ns	51,69ns	31,38ns
Resíduo	27	0,20	0,81	21,63	1,30
CV (%)		10,34	20,80	24,67	20,78

\*\* significativo ( $p < 0,01$ ) e ns - não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F

Observa-se ter ocorrido efeito significativo da reposição hídrica pelo o teste F, sobre o pH solo e segundo as equações de regressão obtidas ocorreu um decréscimo de 2,47; 11,34; 17,32 e 26,60% no pH do solo que receberam 1,00; 0,75; 0,50, e 0,25 RH respectivamente, quando comparada com o solo que recebia 1,25 da reposição hídrica (Figura 58).



**Figura 58.** pH do solo cultivado com pinhão-mansão irrigado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o quarto ano de produção

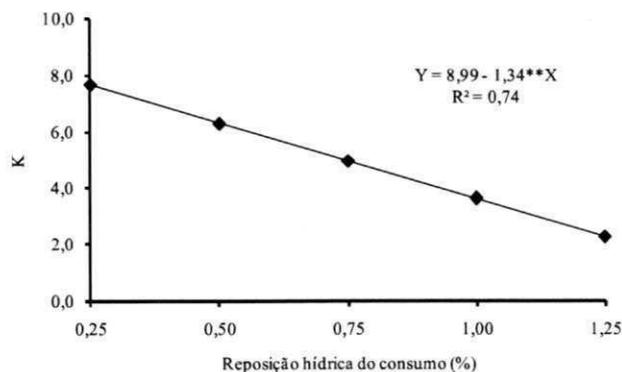
Observam-se na Tabela 22 as análises de variância para os teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio em que somente o teor de potássio apresentou efeito significativo.

**Tabela 22.** Resumo da análise de variância para os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na) em solo cultivado com pinhão-mansão e irrigado com água residuária em diferentes reposições hídricas e doses de fósforo

Causa de Variação		Quadrados Médios			
		Ca	Mg	K	Na
Reposição Hídrica (RH)	4	54,44ns	44,63ns	48,41**	9,21ns
R. Linear	1	50,96ns	8,29ns	144,24**	2,23ns
R. Quadrática	1	0,22ns	149,87ns	26,62**	8,79ns
Desvio Regressão	2	79,30ns	10,17ns	11,40**	12,92ns
Dose de Fósforo (DP)	1	48,31ns	32,09ns	1,72ns	13,65ns
Interação RH x DP	4	12,66ns	47,34ns	2,93ns	0,81ns
Bloco	3	46,57ns	47,68ns	2,80ns	12,64ns
Resíduo	27	28,02	36,58	2,76	5,45
CV (%)		20,37	37,59	33,50	27,45

\*\* significativo ( $p < 0,01$ ) e ns - não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F.

Observa-se decréscimo acentuado no teor de potássio conforme aumenta a disponibilidade hídrica no solo, apresentando uma redução de 70,2% entre a reposição hídrica 0,25 e 1,25 RH (Figura 59).



**Figura 59.** Teor de potássio - K, em solo cultivado com pinhão-mansão irrigado com água residuária com diferentes reposições hídricas durante o quarto ano de produção.

Com relação às doses de  $P_2O_5$  no perfil do solo, não se detectou efeito sobre os elementos em estudo.

#### **IV.8.4. Conclusões**

A aplicação de lâminas de reposição hídrica com efluente doméstico no solo ocasionou uma elevação no pH conforme aumenta a disponibilidade hídrica, no entanto, o efeito sobre o potássio foi inverso.

Com referência as doses de  $P_2O_5$  no perfil do solo, não se detectou efeito sobre os elementos em estudo.

## CAPÍTULO V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKRAM, N. A.; SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M. Relationship of photosynthetic capacity and proline accumulation with the growth of differently adapted populations of two potential grasses (*Cynodon dactylon* (L.) Pers. and *Cenchrus ciliaris* L.) to drought stress. **Pakistan Journal of Botany**, v. 39, n. 3, p. 777-786, 2007.

ALBUQUERQUE, W. G.; FREIRE, M. A de O.; BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, C. A. V. de. Avaliação do crescimento do pinhão-mansão em função do tempo, quando submetido a níveis de água e adubação nitrogenada. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, n. 2, p. 68-73, 2009.

ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; OLIVEIRA, F. de A. de; MEDEIROS, J. F. de; OLIVEIRA, M. K. T. de; LINHARES, P. C. F. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento inicial da mamoneira. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 217-221, 2009.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CATARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. **Interpretação dos resultados das análises de solos**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5 ed. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p. 25-32.

AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY. **Official and tentative methods of the American Oil Chemists Society**. Champaign: AOCS, 2000.

ANDRADE, L. O. de; **Utilização de água residuária e adubo orgânico na cultura do crisântemo**. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

ARRAZATE, C. H. A.; LÓPEZ, C. T.; CASTAÑEDA, C. L.; GALÁN, J. D. M.; VARELA, A. S.; GONZÁLEZ, F. C. Comparación de la tolerancia a la sequía de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la acumulación de prolina. **Interciencia**, v. 30, n. 9, p. 560-564, 2005.

ARRUDA, F. P. de.; BELTRÃO, N. E. de M.; ANDRADE, A. P. de.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) como alternativa

para o Semi-Árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, n. 1, p. 3-16, 2004.

ATTEYA, A. M. Alteration of water relations and yield of corn genotypes in response to drought stress. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v. 29, n. 3, p.63-76, 2003.

AUGUSTUS, G. D. P. S.; JAYABALA, N. M.; SEILERB, G. J. Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. **Biomass and Bioenergy**, v. 23, n. 3, p. 161-164, 2002.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 7 ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 218 p.

AZEVEDO, M. R. de Q. A.; KONIG, A.; BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, C. A. V de.; TAVARES, T. de L.; SOARES, F. A. L. Efeito da irrigação com água residuária tratada sobre a produção de milho forrageiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 1, p. 63-64, 2007.

BAETHGEN, W. E.; ALLEY, M. M. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digest. **Community Soil Science and Plant Analysis**, v. 20, n. 9-10, p. 961-969, 1989.

BARKER, R. E.; FRANK, A. B.; BERDAHL, J. D. Cultivar and clonal differences for water use efficiency and yield in four forage grasses. **Crop Science**, v. 29, n. 1, p.58-61, 1989.

BARROS JUNIOR, G. GUERRA, H. O. C.; CAVALCANTI, M. L. F.; LACERDA, R. D. de. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 350-355, 2008.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora folha de Viçosa, 1990. 330 p.

- BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, Rima. 2003. 267 p.
- BATES, L. S. Rapid determination of free proline for water stress studies. Short communication. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.
- BELTRÃO, N. E. de M. Agronegócio das oleaginosas no Brasil. **Revista Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 14-17, 2005.
- BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L. C.; MELO, F. B. Mamona consorciada com feijão visando produção de biodiesel, emprego e renda. **Bahia Agrícola**, v. 5, n. 2, p. 34-37, 2002.
- BELTRÃO, N. E. de M.; SOUZA, J. G de; SANTOS, J. W. dos; JERÔNIMO, J. F.; COSTA, F. X.; LUCENA, A. M. de A; FERREIRA, U. C. de Q. Fisiologia da mamoneira, cultivar BRS 149 nordestina, na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 7, n. 1, p. 659-664, 2003.
- BENNETT, W. **Nutrients deficiencies and toxicities in crop plants**. 2 ed. St. Paul: APS. 1994, 202 p.
- BISWAL, B.; BISWAL, U. C. **Photosynthesis under stress: Stress signals and adaptive response of chloroplasts**. In: Handbook of plant and crop stress. PESSARAKLI, M. (ed.). New York: Marcel Dekker. 1999, p. 315-336.
- BJÖRKMAN, O.; POWLES, S. B. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress interaction with light level. **Planta**, v. 161, n. 6, p. 490-504, 1984.
- BLUM, J. R. C. **Critérios e Padrões de Qualidade de Água**. In: Reúso de Água. Cap. 5, Eds. MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2003.
- BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; LIMA, R. de L. S. de; FERREIRA, G. B.; MEDEIROS, J. da C.; SILVA, B. B.; BELTRÃO, N. E. de M. Efeito da adubação fosfatada sobre os teores foliares de P e produtividade do algodoeiro no semiárido nordestino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7, 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2009. p. 1875-1884.
- BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. **Conceito de reúso de água**. In: Reúso de água. Cap. 2. Eds. MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. Universidade de São Paulo: São Paulo, 2003.

BRITO, R. A. L.; COUTO, L.; SANTANA, D. P. Agricultura irrigada, recursos hídricos e produção de alimentos. **Revista ITEM**, n. 55, p. 64-69, 2002.

CAOVILLA, F. A.; SAMPAIO, S. C.; PEREIRA, J. O.; VILAS BOAS, M. A.; GOMES, B. M.; FIGUEIREDO, A. C. Lixiviação de nutrientes provenientes de águas residuárias em colunas de solo cultivado com soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, (suplemento), p. 283-287, 2005.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 4, p. 1529-1534, 2007.

CARARO, D. C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando à minimização do entupimento de emissores**. 2004. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

CATALDO, J. M.; HAROOM, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.

CAVALCANTI, M. L. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BARROS JÚNIOR, G.; SOARES, F. A. L.; SIQUEIRA, E. da C. Índices ecofisiológicos da mamoneira sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, (suplemento), p. 66-70, 2005a.

CAVALCANTI, M. L. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BARROS JÚNIOR, G.; SOARES, F. A. L.; SIQUEIRA, E. da C. Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: Germinação e características de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, (suplemento), p. 57-61, 2005b.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P., OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field. **Photosynthesis and growth. Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 907-916, 2002.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2008.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação: A fronteira hídrica na produção de alimentos. **Revista ITEM**, n. 54, p. 46-55, 2002.

COELHO, M. A.; SONCIN, N. B. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Moderna, 1982. 368 p.

CORNIC, G.; GHASHGHAIE, J.; GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M. Leaf photosynthesis is resistant to a mild drought stress. **Photosynthetica**, v. 27, n. 3, p. 295-309, 1992.

CORREIA, K. G. **Índices fenológicos e fisiológicos de amendoim sob estresse salino**. 2005. 82 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SANTOS, T. da S. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila *a* em amendoim sob condições de salinidade, **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 4, p. 514-521, 2009.

COSTA, F. X.; LUCENA, A. M. A.; FERREIRA, U. C. Q. Fisiologia da mamoneira, cultivar BRS 149 Nordestina, na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 7, n. 1, p. 659-664, 2003.

COSTA, N. V. da; ERASMO, E. A. L.; DORNELAS, B. F.; DORNELAS, D. F.; SARAIVA, A de S. Crescimento de plantas de pinhão-mansão em resposta à adubação fosfatada: 1º ano de avaliação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS DE PINHÃO-MANSO, 1, Brasília. **Anais...** Brasília, ABPPM, 2009.

DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. L. S. de; KRAUSE, W. Aptidão agroclimática do pinhão-mansão na região de Tangará da Serra, MT. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 373-379, 2010.

DANTAS, J. P.; MARINHO, F. J. L.; FERREIRA, M. M. M.; AMORIM, M do S. N.; ANDRADE, S. I. de O.; SALES A. L. de; Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 425-430, 2002.

DAVIES, W. J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plant in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 42, n. 1, p. 55-76, 1991.

DENG, X.; HU, Z. A.; WANG, H. X.; WEN, X. G.; KUANG, T. Y.. A comparison of photosynthetic apparatus of the detached leaves of the resurrection plant *Boea*



hygrometrica with its con-tolerant relative *Chirita hererotrichia* in response to dehydration and rehydration. **Plant Science**, v.165, n. 4, p.851-861, 2003.

DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUSA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S.; DIAS, D. C. F. S. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa: UFV, 2007. 40 p.

DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R. de; MARTINS, J. C.; ANJOS, J. B. dos; EVANGELISTA, M. R. V. Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão-manso no Semiárido pernambucano. **Revista Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p.44-47, 2010.

DUBOIS, M.; GILLIES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2 ed. Londrina: Planta, 2006. 401 p.

ERISMANN, N. M.; MACHADO, E. C.; GODOY, I. J. Capacidade fotossintética de genótipos de amendoim em ambiente natural e controlado **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1099-1108, 2006.

FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-DPU, 1989. 425 p.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R.; **Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares**. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. p. 319-362.

FARRAR, J. F. Sinks-integral parts of a whole plant. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n, 1, p. 1273-1279, 1996.

FELIZATTO, M. R. ETE CAGIF: Projeto integrado de tratamento avançado e reúso direto de águas residuárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa. **Anais...** Brasília: ABEAS, 2001.

FERRARI, R. A.; CASARINI, M. B.; MARQUES, D. de A.; SIQUEIRA, W. J. Avaliação da composição química e de constituinte tóxico em acessos de pinhão-manso de diferentes origens. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 309-314, 2009.

- FERREIRA, D. F. **SISVAR 4.6 Sistema de Análises Estatísticas**. Lavras: UFLA, 2003. 32 p.
- FERREIRA, G. B.; SANTOS, A. C. M.; XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M. M.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M. DANTAS, J. P.; MORAES, C. R. de A. A deficiência de fósforo e potássio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1, 2004, Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2004. CD-Rom.
- FERREIRA, O. E.; BELTRÃO, N. E. de M.; KONIG, A. Efeitos da aplicação de água residuária e nitrogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 9, n. 1, p. 893-902, 2005.
- FLEXAS, J.; DIAZ-ESPEJO, A.; GALMÉS, J.; KALDENHOFF, R.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBO, M. Rapid variations of mesophyll conductance in response to changes in CO<sub>2</sub> concentration around leaves. **Plant Cell and Environment**, v. 30, n. 10, p. 1284-1298, 2007.
- FLEXAS, J.; RIBAS-CARBO, M.; BOTA, J. GALMES, J.; HENKLE, M.; MARTINEZ-CANELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO<sub>2</sub> concentration. **New Phytologist**, v. 172, n. 1, p. 73-82, 2006.
- FONSECA, A. F., MELFI, A. J., MONTES, C. R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. I. Plant dry matter yield and soil nitrogen and phosphorus availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, n. 13, p. 1965-1981, 2005.
- FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 2, p. 194-209, 2007.
- FRANCIS, G.; EDINGER, R.; BECKER, K. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socioeconomic development in degraded areas in India. Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. **Nature Resources Forum**, v. 29, p. 12-24, 2005.
- FRESNEAU, C.; GHASHGHAJE, J.; CORNIC, G. Drought effect on nitrate reductase and sucrose-phosphate synthase activities in wheat (*Triticum durum* L.): role of leaf internal CO<sub>2</sub>. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 11, p. 2983-2992, 2007.

- FRIGO, M. S.; BUENO, O. de C.; ESPERANCICI, M. S. T.; FRIGO, E. P.; KLAR, A. E. Análise energética do primeiro ano de cultivo do pinhão-manso em sistema irrigado por gotejamento. *Irriga*, v. 13, n. 12, p. 261-271, 2008.
- GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D. **Salinidade do solo, crescimento e desenvolvimento das plantas.** In: Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas. Eds. NOGUEIRA, R. J. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. Recife: MXM Gráfica e Editora, 2005, p. 138-147.
- GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, M. A. F. **Prevenção, manejo e recuperação de solos salinos e sódicos.** Mossoró: ESAM, 1991. 70 p.
- GOLDSCHMIDT, E. E. Carbohydrate supply as a critical factor for citrus fruit development and productivity. *HortScience*, v. 34, n. 1, p. 1020-1024, 1999.
- GOMES, E. M.; GHEYI, H. R.; SILVA, E. F. de F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2000.
- GRANT, C. A.; PLATEN, D. N.; TOMAZIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 95, 2001.
- GRIEVE, C. M.; GRATTAN, S. R. Rapid assay for determination of water-soluble quaternary ammonium-compounds. *Plant Soil*, v. 70, n. 2, p. 303-307, 1983.
- GRZESIAK, M. T.; GRZESIAK, S.; SKOCZOWSKI, A. Changes of leaf water potential and gas exchange during and after drought in triticale and maize genotypes differing in drought tolerance. *Photosynthetica*, v. 44, n. 4, p. 561-568, 2006.
- GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Effects of light, temperature, water and meatworks effluent irrigation on eucalypt leaf litter decomposition under controlled environmental conditions. *Applied Soil Ecology*, v. 17, n. 3, p. 229-237, 2001.
- GUSMÃO, C. A. G. **Desempenho do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) do segundo ano submetido a diferentes doses e relações NPK.** 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2010.

HERPIN, V.; GLOAGUEN, T. V.; FONSECA, A. F. da; MONTES, C. R.; MENDONÇA, F. C.; PIVELI, R. P.; BREULMANN, G.; FORTI, M. C.; MELFI, A. J. Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation – a pilot field study in Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 89, n. 1, p. 105-115, 2007.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Bahia, Análise & Dados**, v. 13, n. especial, p. 411-437, 2003.

HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanism of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, n. 9, p. 431-438, 2001.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A. **Qualidade da água para irrigação**. In: Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Eds. GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. p.137-169.

HSIAO, T. C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 24, n. 1, p. 519-570, 1973.

HUSSAIN, I.; RASCHID L.; HANJRA, M. A.; MARIKAR, F.; van der HOEK, W. **Wastewater use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts**. Colombo: International Water Management Institute. Paper 37, 2002. 62 p.

HUSSAR, G. J.; PARADELA A. L.; BASTOS M. C.; REIS T. K. B.; JONAS T. C.; SERRA W.; GOMES J. P. Efeito do uso do efluente de reator anaeróbio compartimentado na fertirrigação da beterraba. **Engenharia Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 35-45, 2005.

JOHNS, G. G.; MCCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent II. Effect of plant nutrients, additional elements and pesticide residue in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 45, n. 1, p. 1601-1617, 1994.

KISHOR, P. B. K.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N; SRI LAXMI, P.; NAIDU, K. R; RAO, K. R. S. S; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, v. 88, n. 3, p. 424-438, 2005.

- KRAMER, P. J. **Drought stress, and the origins of adaptations.** In: Adaptation of plants to water and high temperature stress. Eds. TURNER, N. C.; KRAMER, P. J. New York: Wiley, 1980, p. 7-22.
- KUMAR, N.; SUDHEER, D. V. N.; PAMIDIMARRI, M. K.; BORICHA, G.; MUPPALA, P. R. Effects of NaCl on growth, ion accumulation, protein, proline contents and antioxidant enzymes activity in callus cultures of *Jatropha curcas*. **Biologia**, v. 63, n. 3, p. 378-382, 2008.
- LACERDA, C. F. de; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. P. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 49, n. 2, p. 107-120, 2003.
- LACERDA, C. F.; ASSIS JÚNIOR, J. O.; LEMOS FILHO, L. C. A.; GUIMARÃES, F. V. A.; OLIVEIRA, T. S.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J. T.; BEZERRA, M. A. Morpho-physiological responses of cowpe leaves to salt stress. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 18, n. 4, p. 455-465, 2006.
- LACERDA, R. D. de. **Resposta da mamoneira BRS 188 – Paraguaçu a diferentes níveis de água e matéria orgânica no solo.** 2006. 70 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos: Rima Artes, 2004. 531 p.
- LAUCHLI, A. EPSTEIN, E. **Plant responses to saline and sodic conditions.** In: Agricultural salinity assessment and management. Ed. TANJI, K. K. New York: SCE, 1990, p. 113-137.
- LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. dos S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-mansão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.
- LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; SALOMÃO, L. C. C. e CRUZ, C. D. Acúmulo de macronutrientes em frutos de cafeeiros em Viçosa-MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5, Águas de Lindóia, 2007. **Anais...** Lavras: UFV, 2007. CD-ROM.

- LAVRES JUNIOR, J.; NOGUEIRA, T. A. R.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Deficiências de macronutrientes no crescimento e na produção da mamoneira cultivar Íris. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 4, n. 4, p. 405-413, 2009.
- LAWLOR, D. W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*, v. 89, n. 7, p. 871-885, 2002.
- LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, v. 25, n. 2, p. 275-294, 2002.
- LEE, B. R.; JIN, Y. L.; JUNG, W. J.; AVICE, J. C.; MORVAN-BERTRAND, A.; OURRY, A.; PARK, C. W.; KIM, T. H. Water-deficit accumulates sugars by starch degradation – not by de novo synthesis – in white clover leaves (*Trifolium repens*). *Physiologia Plantarum*, v. 134, n. 3, p. 403-411, 2008.
- LEITE, E. M. **Utilização de corretivos químicos em solos degradados por sódio usando milheto (*pennisetum americanum* L.) como planta teste.** 2005. 76 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.
- LEMOS-FILHO, J. R. Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 23, n. 1, p. 45-50, 2000.
- LIMA, L. A. **Efeitos de sais no solo e na planta.** In: Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997, p. 113-127.
- LIU, F.; JENSEN, C. R.; ANDERSEN, M. N. Hydraulic and chemical signals in the control of leaf expansion and stomatal conductance in soybean exposed to drought stress. *Functional Plant Biology*, v. 30, n. 1, p. 65-73, 2003.
- LONG, S. P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 45, n. 1, p. 633-662, 1994.

LOPEZA, A.; POLLICEA, A.; LONIGROB, A.; MASIC, S.; PALESED, A. M.; CIRELLIE, G. L.; TOSCANOE, A.; PASSINOA, R. Agricultural wastewater reuse in southern Italy. **Desalination**, v. 187, n. 1-3, p. 323-334, 2006.

LÓPEZ-BUCIO, J. L.; HERNANDEZ-ABREU, E.; SÁNCHEZ-CALDERÓN, L.; NIETOJACOBO, M. F.; SIMPSON, J.; HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate availability alters architecture and cause changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. **Plant Physiology**, v. 129, n. 1, p. 244-256, 2002.

LUCENA, A. M. A. de; GUERRA, H. O. C; CHAVES, L. H. G.; COSTA, F. X. Influência da natureza do substrato e da água de irrigação no crescimento de mudas de flamboyant (*Delonix regia*). **Revista Caatinga**, v. 20, n. 3, p. 112-120, 2007.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 103, n. 2, p.115-134. 1977.

MAATHUIS, F. J. M.; AMTMANN, A. K<sup>+</sup> Nutrition and Na<sup>+</sup> Toxicity: Basis of Cellular K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> Ratios. **Annals of Botany**, v. 84, n. 2, p. 123-133, 1999.

MACEDO, F. L. de; PEDRA, W. N.; SILVA, S. A.; BARRETO, M. C. de V.; SILVA-MANN, R. Efeito do alumínio em plantas de Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva, **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 157-164, 2011.

MACHADO, D. F. S. P. MACHADO, E. C.; MACHADO, R. S.; RIBEIRO R. V. Efeito da baixa temperatura noturna e do porta-enxerto na variação diurna das trocas gasosas e na atividade fotoquímica de laranjeira 'valência', **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32 n. 2 p. 351-359, 2010.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA C. L.; RIBEIRO R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MACHADO, R. S. Respostas fisiológicas de genótipos de cana-de-açúcar ao déficit hídrico imposto na fase inicial de desenvolvimento. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) Programa de Pós-Graduação Em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, 2009.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. de A. Respostas biométricas e fisiológicas ao

déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MADWAL, K.; TARAZI, H. Desalination techniques for industrial wastewater reuse. **Desalination**, v. 152, n. 1-3, p. 325-332, 2002.

MAGGIOTTO, S. R. **Estimativa da evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho**. 1996. 71 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade de São Paulo, Piracicaba: Esalq-USP, 1996.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5 ed. São Paulo: Ceres, 1989, 292 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2 Ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997, 319 p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**, Viçosa: UFV, 2005, 451 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995, 856 p.

MARTINS, C. C.; MACHADO, C. G.; CAVASINI, R. Temperatura e substrato para o teste de germinação de sementes de pinhão-manso. **Revista Ciência Agrotecnologia**, v. 32, n. 3, p. 863-868, 2008.

MARTINS, L. D. TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. do; LAVIOLA, B. G.; BORCARTE, M. Desenvolvimento inicial de mamona e pinhão-manso em solo submetido a diferentes corretivos e doses de fósforo. **Revista Verde**, v. 5, n. 1, p. 143-150, 2010.

MATOS, A. T. de; PINTO, A. B.; PEREIRA, O. G.; BARROS, F. M. Alteração de atributos químicos no solo de rampas utilizadas no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 406-412, 2005.

MEDEIROS, S. de S.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Uso de água residuária de origem urbana no cultivo de gérbereas: Efeito nos componentes de produção. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 569-578, 2007.

MEDRANO, H.; FLEXAS, J. **Respuesta de las plantas al estrés hídrico**. In: La ecofisiologia vegetal: Una ciência de síntesis. REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; ADELA, S. Madrid: Thomson-Paraninfo, 2003, p. 253-286.

MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R.; MARTINEZ, C. A.; OLIVA, M. A. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycine betaine accumulation in *Prosopis alba*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 16, n. 1, p.39-46, 2004.

MENDONÇA, S.; LAVIOLA, B. G. **Uso potencial e toxidez da torta de pinhão-manso**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2009. 8 p.

MENEZES, R. C.; SILVA, T. O. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, 2008.

MENEZES, R. S. C.; OLIVEIRA, T. S. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 251-257, 2008.

MIERZWA, J. C. Uso de águas residuárias na agricultura - O caso do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, 1, Passo Fundo, **Anais...** Passo Fundo: UPF, 2004.

MORAIS, D. L. de; **Impacto da nutrição mineral no crescimento do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2010. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2010.

MOREIRA, L. G.; VIANA, T. V. de A.; MARINHO, A. B.; NOBRE, J. G. A.; LIMA A. D.; ALBUQUERQUE, A. H. P. Efeito de diferentes lâminas de irrigação na produtividade da mamoneira variedade IAC Guarani. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 4, p. 449-455, 2009.

MORGAN, J. M. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 35, n. 1, p. 299-319, 1984.

MUNNS, R.; JAMES, R. A.; LÄUCHLI, A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany**, v.57, n. 5, p. 1025-1043, 2006.

NERY, A. R. **Crescimento e desenvolvimento do pinhão-manso irrigado com água residuária e salina – Segundo ciclo de produção**. 2011. 93 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.



NERY, A. R. **Crescimento e fenologia do pinhão-manso irrigado com águas salinas sob ambiente protegido**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

NERY, A. R. RODRIGUES, L. N.; SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; CHAVES, L. H. G.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H. R. Crescimento e desenvolvimento do pinhão-manso irrigado com águas salinas sob ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 551-558, 2009.

NEUMANN, P. M. The role of cell wall adjustment in plant resistance to water deficits. **Crop Science**, v. 35, n. 5, p. 1258-1266, 1995.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; GOMES FILHO, E.; FEITOSA, D. R. C. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão de corda irrigado com água salina em diferentes estádios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. suplemento, p. 873-881. 2009.

NOBRE, R. G. GHEYI, H. R.; ANDRADE, L. O. de; SOARES, F. A. L.; NASCIMENTO, E. C. S. Crescimento do girassol irrigado com água residuária e adubação orgânica. **Revista DAE**, v. 4, n. 1, p. 50-60, 2009.

NOBRE, R. G. GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; ANDRADE, L. O. de; NASCIMENTO, E. C. S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 747-754, 2010.

NOBRE, R. G.; ANDRADE, L. O. de; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; FIGUEIREDO, G. R. G. de; SILVA, L. A. Vigor do girassol (*Helianthus annuus* L.) sob diferentes qualidades de água. **Educação Agrícola Superior**, v. 23, n. 01, p. 58-60, 2008.

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

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: Métodos de pesquisa em fertilidade de solo. Eds OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D.; LOURENÇO, S. Brasília: EMBRAPA-SAE. 1991, p. 189-253.

- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999, 399 p.
- NUNES, C. F.; PASQUAL, M.; SANTOS, D. N. dos; CUSTÓDIO, T. N.; ARAÚJO, A. G. de. Diferentes suplementos no cultivo in vitro de embriões de pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 9-14, 2008.
- OLIVEIRA, I. R. S de; OLIVEIRA, F. N. de; MEDEIROS, M. A. de; TORRES, S. B.; TEIXEIRA, F. J. V. Crescimento inicial do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L) em função da salinidade da água de irrigação. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 40-45, 2010a.
- OLIVEIRA, J. P. M.; SCIVITTARO, W. B.; CASTILHOS, R. M. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I. Adubação fosfatada para cultivares de mamoneira no Rio Grande do Sul, **Revista Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1835-1839, 2010b.
- OLIVEIRA, S. J. C. **Componentes de crescimento do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L) em função da adubação mineral e da poda**. 2009. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.
- OLIVEIRA, V. D. de, **Variabilidade genética de pinhão-manso cultivado em dois agroecossistemas de Sergipe**, 2010. 45 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção Sustentáveis), Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.
- PAPAIACOVU, I. Case study - Wastewater reuse in Limassol as an alternative water source. **Desalination**, v. 138, n. 1-3, p. 55-59, 2001.
- PAUL, M. J.; FOYER, C. H. Sink regulation for photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 360, p. 1383-1400, 2001.
- PEREZ-MARIN, A. M.; MENEZES, R. S. C.; DIAS, E. M. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 555-564, 2006.
- PESSOA, L. G. M. **Desenvolvimento de cebola e atributos químicos de dois neossolos flúvicos irrigados com águas salinas**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004, 191 p.

- PIMENTEL, C. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 11, p. 2021-2027, 1999.
- PIMENTEL, C.; COSTA, E. S.; SANTOS, M. G.; GUIMARÃES, V. F. Leaf protoplasmatic tolerance to water stress in bean genotypes. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 6, n. 1, p. 15-20, 2000.
- PINTO, C. de M.; TÁVORA, F. J. F. A.; BEZERRA, M. A.; CORRÊA, M. C. de M. Crescimento, distribuição do sistema radicular em amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 39, n. 3, p. 429-436, 2008.
- PRADO, A. K. S.; MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; MACHADO, D. F. S. P.; MAZZAFERA, P. Florescimento e frutificação em laranjeiras 'Valência' com diferentes cargas de frutos e submetidas ou não à irrigação. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 173-182, 2007.
- PREZOTTI, L. C. **Fertilização do cafeeiro**. In: Tecnologias de produção de café com qualidade. Ed. ZAMBOLIM, L. Viçosa: UFV, 2001, p. 607-615.
- PRISCO, J. T. Alguns aspectos da fisiologia do "stress" salino. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 3, n. 1, p. 85-94, 1980.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS. 1991. 343 p.
- RAMOS, M. J. M.; **Caracterização de sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em abacaxizeiro cultivar imperial**. 2006. 109 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2006.
- RAO, G. R.; KORWAR, G. R.; SHANKER, A. K.; RAMAKRISHNA, Y. S. Genetic associations, variability and diversity in seed characters growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* accessions. **Trees**, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Movimento de água e soluto nas plantas**. In: *Biologia Vegetal*. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanagara Koogan, 2001, 720 p.
- REBOUÇAS, J. R. L.; DIAS, N. da S.; GONZAGA, M. I. da S.; GHEYI, H. R.; SOUZA NETO, O. N. dc. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2010.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHAL, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB. 2000. 117 p.

- RIBEIRO, M. S.; LIMA, L. A.; FARIA, F. H. de S.; REZENDE, F. C.; FARIA, L. do A. Efeitos de águas residuárias de café no crescimento vegetativo de cafeeiros em seu primeiro ano. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 569-577, 2009a.
- RIBEIRO, M. S.; SANTOS, H. R. B.; MEDEIROS, D. B.; MOURA, A. R.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Caracterização biométrica de sementes de pinhão-mansão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 1, Brasília, **Anais...** Brasília, EMBRAPA Agroenergia, 2009b. CD-Rom.
- RICHARDS, L. A. **Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos**. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos da América, 1954. 172 p.
- RODRIGUES, L. N. **Níveis de reposição da evapotranspiração da mamoneira irrigada com água residuária**. 2008. 161 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2008.
- RODRIGUES, L. N.; NERY, A. R.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M.; GHEYI, H. R. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. suplemento, p. 825-835, 2009.
- RODRIGUES, R. S. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil: Proposta de regulamentações do reúso no Brasil**. 2005, 177 f. (Mestrado em Engenharia Hidráulica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ROSOLEM, C. A. **Relações solo-planta na cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1995, 53 p.
- SAIRAM, R. K.; TYAGI, A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. **Current Science**, v. 86, n. 03, p. 407-421, 2004.
- SAKAMOTO, A.; MURATA, N. The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. **Plant Cell Environment**, v. 25, n. 2, p.163-171, 2002.
- SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 17-29, 2007.

SANTOS, C. M. dos; **Fenologia e capacidade fotossintética do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) em diferentes épocas do ano no Estado de Alagoas.** 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação em Agronomia na Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2008.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

SANTOS, S.; FERREIRA-JÚNIOR, E. J.; PIRES, B.; NETTO, A. P. C. Efeito de diferentes adubações no desenvolvimento inicial de mudas de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4., Varginha. **Anais...** Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007.

SATO, M.; BUENO, O. de C.; ESPERACINI, M. S. T.; FRIGO, E. P. A cultura do pinhão-mansão (*Jatropha Curcas* L): Uso para fins combustíveis e descrição agronômica. **Revista Varia Scientia**, v. 7, n. 13, p. 47-62, 2009.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L). **Revista Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SAVY FILHO, A. **Mamona: tecnologia agrícola.** Campinas: EMOPI, 2005, 105 p.

SCHACHTMAN, D.; LIU, W. Molecular pieces to the puzzle of the interaction between potassium and sodium uptake in plants. **Trends Plant Science**, v. 4, n. 7, p. 281-287, 1999.

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. A.; GONDIM, T. M. S.; FREIRE, W. S. A.; CASTRO, D. A.; CARDOSO, G. D.; BELTRÃO, N. E. de M. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 563-568, 2006.

SEVERINO, L. S.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M. A simple method for measurement of *Jatropha curcas* leaf area. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 11, n. 1, p. 9-14, 2007.

SHI, H.; QUINTERO, F. J.; PARDO, J. M.; ZHU, J. K. The putative plasma membrane  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporter SOS1 controls long-distance  $\text{Na}^+$  transport in plants. **The Plant Cell**, v. 14, n. 02, p. 466-477, 2002.

SILVA, E. de B.; TANURE, L. P. P.; SANTOS, S. R.; RESENDE JÚNIOR, P. S. de.; Sintomas visuais de deficiências nutricionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 44, n. 4, p. 392-397, 2009a.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 10, p. 1130-1137, 2010a.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 1, p. 62-68, 2011.

SILVA, E. N.; SILVA, S. L. F.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n. 3, p. 279-285, 2010b.

SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; FERNANDES, C. R. R.; DUTRA, A. T. B.; ARAGÃO, R. M. de. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansô sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 240-246, 2009b.

SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; FERNANDES, C. R. R.; LIMA, C. S. de, VIÉGAS, R. A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansô submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 5, p. 437-445, 2009c.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

SILVA, J. T. A.; COSTA, E. L.; SILVA, I. P.; MOURA NETO, A. Adubação do pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L) com nitrogênio e fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4, Varginha, **Anais...** Varginha: UFLA, 2007.

SILVA, J. V. LACERDA, C. F. de; COSTA, P. H.; ENÉIAS FILHO, J.; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J. T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl<sub>2</sub>. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 15, n. 2, p. 99-105, 2003.

SILVA, M. B. R. **Crescimento, desenvolvimento e produção do pinhão-mansão irrigado com água residuária em função da evapotranspiração**. 2009. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

SILVA, M. B. R.; DANTAS NETO, J.; FERNANDES, P. D.; FARIAS, M. S. S. de Cultivo de pinhão-mansão sob condições de estresse hídrico e salino, em ambiente protegido. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, n. 2, p. 74-79, 2009d.

SILVA, S. M. S. **Germinação, crescimento e desenvolvimento de genótipos de mamoneira irrigados com águas salinas**. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

SILVA, S. M. S.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. de M. Germinação e crescimento inicial de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. suplemento, p. 347-352, 2005.

SILVA, S. M. S.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; SOARES, F. A. L. Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 335-342, 2008.

SILVEIRA, J. A. G.; ARAÚJO, S. A. M.; LIMA, J. P. M. S.; VIÉGAS, R. A. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 1, p. 1-8, 2009.

SILVEIRA, J. A. G.; VIÉGAS, R. A.; ROCHA, I. M. A.; MOREIRA, A. C. D. M.; MOREIRA, R. D.; OLIVEIRA, J. T. A. Proline accumulation and glutamine synthetase activity are increased by salt-induced proteolysis in cashew leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 2, p. 115-123, 2003.



SOUSA, A. E. C.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; MEDEIROS, E. P.; NASCIMENTO, E. C. S. Teor de óleo no pinhão-manso em função de lâminas de água residuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 108-111, 2011.

SOUSA, C. H. C. de. **Análise da tolerância à salinidade em plantas de sorgo, feijão de corda e algodão**. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SOUSA, J. T. de; CEBALLOS, B. S. O. de; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S. M. S. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 89-96, 2006.

SOUZA, K. S.; OLIVEIRA, F. A. de; GUEDES FILHO, D. H.; BRITO NETO, J. F. de. Avaliação dos componentes de produção da mamoneira em função de doses de calcário e fósforo. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 116-122, 2009.

SOUZA, L. F. da S. **Exigências edáficas e nutricionais**. In: O abacaxizeiro, Cultivo, agroindústria e economia. Eds CUNHA, G. A. P. da, CABRAL, J. R. S., SOUZA, L. F. da S. Brasília: EMBRAPA comunicação para transferência de Tecnologia, 1999.

SOUZA, R. M. de; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; SOARES, F. A. L. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 125-133, 2010.

SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVA, J. A. B.; LAGOA, A. M. M. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata* L) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v. 51, n. 1, p. 45-56, 2004.

SPINELLI, V. M. ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FERNANDES, C. de F.; MILITÃO, J. S. L. T.; DIAS, L. A. dos S. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-manso. **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719 p.

TAYER, J. N. **Effect of irrigation methods with saline waters o maize production and salt distribution in soil**. 1987. 285 f. Dissertation (Master of Science in irrigation).

Institute Agronomic Mediterranean of Bari, International Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies. Bari, 1987.

TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. **Revista Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229. p. 18-27, 2005.

TERRY, N.; WALDRON, L. J. Salinity, photosynthesis, and leaf growth. **California Agriculture**, v. 38, n. 10, p.38-39, 1984.

THEIVEYANATHANA, S.; BENYONB, R. G.; MARCARA, N. E.; MYERSA, B. J.; POLGLASEA, P. J.; FALKINERA, R. A. An irrigation-scheduling model for application of saline water to tree plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1-2, p. 97-112, 2004.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**, New York: Macmillan, 1993. 634 p.

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

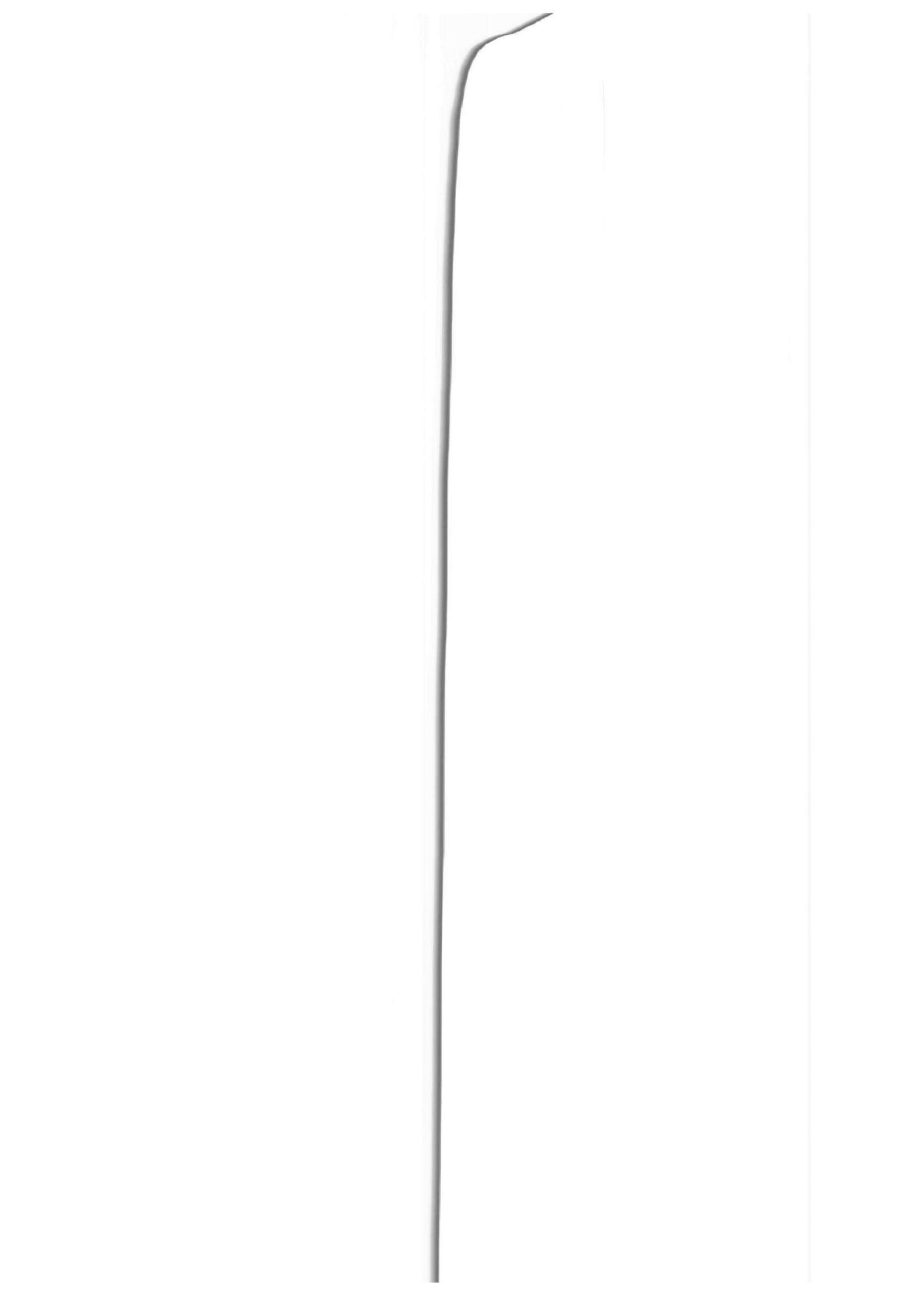
TURNER, N. C.; JONES, M. M. **Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation**. In: Adaptation of plants to water and high temperature stress. Ed. TURNER, N. C.; KRAMER, P. J. New York: Wiley, 1980, p. 87-103.

VALE, L. S.; COSTA, J. V. T.; LIMA, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. de M.; CARDOSO, G. D. Crescimento da mamona em solo compactado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2004.

VALE, L. S.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M. Efeito da salinidade da água sobre o pinhão-manso. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 1, 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: IBPS, 2006.

van der HOEK, W.; HASSAN, U. M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIN, R.; MATSUNO, Y. **Urban wastewater: a valuable resource for agriculture**. A case study from Horoonabad, Pakistan. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 2002. 29 p. (Research Report, 63).

van HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical Biochemistry**, v. 22, n. 2, p. 280-283, 1968.



- VASSEY, T. L.; SHARKEY, T. D. Mild water stress of *Phaseolus vulgaris* plants leads to reduced starch synthesis and extractable sucrose phosphate synthase activity. **Plant Physiology**, v. 89, n. 4, p. 1066-1070, 1989.
- VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HORAN, N. J.; MARA, D. D. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. **Water Science and Technology**, v. 33, n. 10, p. 355-362, 1996.
- VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. da; LIMA JUNIOR, A. R. de; QUEIROZ, J. E.; FAUSTO, M. J. M. Effects of NaCl-salinity on growth and inorganic solute accumulation in young cashew plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 216-222, 2001.
- VITAL, A. F. M. SANTOS, R. V. dos; CAVALCANTE, L. F.; SOUTO, J. S. Comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado com gesso agrícola e fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 30-36, 2005.
- WAHID, A. Physiological implications of metabolite biosynthesis for net assimilation and heat-stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. **Journal of Plant Research**, v. 120, n. 2, p. 219-228, 2007.
- WASAKI, J.; YONETANI, R.; KURODA, S.; SHINANO, T.; YAZAKI, J.; FUJII, F.; SHIMBO, K.; YAMAMOTO, K.; SAKATA, K.; SASAKI, T.; KISHIMATO, N.; KIKUCHI, S.; YAMAGISHI, M.; OSAKI, M. Transcriptomic analysis of metabolic changes by phosphorus stress in rice plant roots. **Plant Cell and Environment**. v. 26, n. 9, p. 1515-1523, 2003.
- WHEATHERBURN, M. W. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. **Analytical Chemistry**, v. 39, n. 8, p. 971-974, 1967.
- WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. **Annals of Botany**, v. 88, n. 6, p. 967-988, 2001.
- WHO – World Health Organization. **Health guidelines for wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical Report Series, 778. Geneva: World Health Organization, 1989. 74 p.
- WILCOX, L. V.; DURUM, W. H. **Quality of irrigation**. In: Irrigation of agricultural lands. Ed. HAGAN, R. M.; HAISE, R. H.; EDMINISTER, T. W. Madison: American Society of Agronomy, 1967, p. 104-122.

YEMM, F. W.; COCKING, E. F. The determination of amino acids with ninhydrin. **The Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209-213, 1955.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v. 3, Special Issue, p. 187-206, 2003.

ZUCARELI, C.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; BARREIRO, A. P.; NAKAGAWA, J. CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 1, p. 09-15, 2006.