



ARTIGO

Desenvolvimento inicial e respostas fisiológicas do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio

Welson Lima Simões^{1*}, Marcos Antonio Drumond¹, Miguel Julio Machado Guimarães², Anderson Ramos de Oliveira¹, Pedro Paulo Bezerra Ferreira³ e Moisés Alves de Souza³

Recebido: 17 de dezembro de 2013 Recebido após revisão: 15 de julho de 2014 Aceito: 23 de julho de 2014
Disponível on-line em <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/2954>

RESUMO: (Desenvolvimento inicial e respostas fisiológicas do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio) As irrigações e adubações bem manejadas são fundamentais para o cultivo sustentável de pinhão manso (*J. curcas*) no semiárido nordestino. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar os parâmetros biométricos e fisiológicos na fase inicial do pinhão manso, sobre diferentes disponibilidades de água no solo e doses de nitrogênio, na região do semiárido nordestino. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro doses de nitrogênio (0; 120; 240; e 360 kg ha⁻¹) e três níveis de água disponível no solo (100; 66 e 33%), com três repetições. Avaliaram-se as características biométricas (altura, diâmetro do caule, área foliar), biomassa das folhas, dos caules e das raízes, e características fisiológicas (fotossíntese, transpiração, condutância estomática e temperatura foliar). As características biométricas altura, área foliar e a biomassa das folhas, do caule e das raízes e fisiológicas tiveram interação com disponibilidade de água e nitrogênio no solo, apresentando um aumento significativo com o aumento dos mesmos, havendo pequenas variações entre eles.

Palavras-chave: *Jatropha curcas*, uréia, estresse hídrico

ABSTRACT: (Initial development and physiological responses of *Jatropha curcas* L.) to different irrigation and nitrogen). The well-managed irrigation and fertilization are fundamental tools for sustainable cultivation of *Jatropha curcas* L.) in semi-arid northeast. Thus, the objective of this work was to evaluate the biometric and physiological parameters of the initial phase of *Jatropha* on different availability of soil water and nitrogen, in semi-arid northeast. The experimental design was a randomized block with four nitrogen rates (0, 120, 240, and 360 kg ha⁻¹) and 3 levels of available soil water (100, 66 and 33%), with three replications. We evaluated the biometric (features height, stem diameter, leaf area), biomass of leaves, stem and roots and physiological (photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and leaf temperature). The biometric characteristics height, leaf area and biomass of leaves, stem and roots had interaction with physiological availability of water and nitrogen in the soil, showing a significant increase with the increase of the same, with slight variations between them.

Key words: *Jatropha curcas*, urea, stress.

INTRODUÇÃO

Com a possível escassez do petróleo e o grande impacto ambiental da utilização dos seus derivados na indústria e no setor automobilístico, tem-se aumentado o interesse em desenvolver tecnologias de produção de combustíveis renováveis e menos poluentes. O cultivo de culturas oleaginosas vem sendo uma alternativa a essa crise, e o Brasil se destaca com grande potencial produtor. A cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) se destaca como boa alternativa para o fornecimento de matéria prima para produção de biodiesel e bioquerosene (Oliveira *et al.* 2012). No entanto, ainda existem poucos estudos com relação à sua adaptabilidade aos climas e as formas de manejo eficiente para cada região.

O pinhão manso é considerado uma cultura rústica, adaptado às mais diversas condições edafoclimáticas, sobrevivendo numa grande diversidade de solos, variando de baixa a alta fertilidade (Arruda *et al.* 2004, Oliveira *et al.* 2012). Neste contexto, esta cultura mostra-se como uma boa alternativa para produção de biodiesel no

nordeste brasileiro, necessitando de técnicas de manejo adequadas, a exemplo da irrigação e da adubação.

A recomendação de adubação de uma cultura depende da disponibilidade de nutrientes no solo e das demandas nutricionais das plantas, que está diretamente relacionado com seu crescimento e desenvolvimento (Laviola *et al.* 2007). O acompanhamento de alguns parâmetros relacionados ao aspecto nutricional da planta são fundamentais para o manejo adequado da cultura. Dentre os nutrientes, o nitrogênio é o mais demandado pelas culturas, estando diretamente relacionado às respostas produtivas das plantas (Carvalho *et al.* 2013). O mesmo faz parte de inúmeras moléculas importantes para as células, podendo ser citadas os aminoácidos, proteínas (estruturais e enzimáticas), clorofilas e ácidos nucleicos (RNA e DNA) (Leite 2011, Raij 1991, Taiz e Zeiger 2009).

Diversas são as recomendações de adubação encontradas na literatura para o pinhão manso no Brasil. Saturnino *et al.* (2005) sugerem uma aplicação de 20 g de uréia, mais 120 g de superfosfato simples, acrescido

1. Pesquisador. Embrapa Semiárido. Petrolina, PE, Brasil.

2. Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Recife, PE, Brasil.

3. Bolsista. Embrapa Semiárido/UPE. Petrolina, PE, Brasil.

* Autor para contato. E-mail: welson.simoese@embrapa.br

de uma adubação orgânica no momento do transplante e estabelecimento das mudas. Lele (2006) afirma que com uma aplicação de NPK na proporção 46:48:24 as plantas não passaram por deficiência nutricional no seu desenvolvimento inicial. Albuquerque *et al.* (2009) avaliando o crescimento do pinhão manso até 150 dias após semeadura afirma que uma adubação com 90 mg dm⁻³ de nitrogênio seria suficiente para o crescimento inicial da cultura.

Juntamente com a adubação correta, o suprimento adequado de água para as culturas interfere diretamente no seu crescimento e desenvolvimento. Diante dos crescentes cenários de mudanças climáticas, problemas como a estiagem, que atinge severamente as culturas, estão cada vez mais frequentes, causando sérios prejuízos às plantas (Carvalho *et al.* 2013, Oliveira *et al.* 2012).

Conforme Taiz e Zeiger (2009), o estresse hídrico no solo interfere no crescimento da planta, uma vez que ele proporciona o fechamento dos estômatos, que minimiza a disponibilidade de CO₂ para planta realizar fotossíntese. Maggioletto (1996) destaca que o baixo conteúdo de água no solo também afeta a temperatura foliar da planta, o que também pode afetar sua taxa de crescimento.

Em condições de baixa disponibilidade hídrica as plantas desenvolvem mecanismos de adaptação como: fechamento dos estômatos, ajustamento osmótico, ajustamento da parede celular, produção de folhas menores, redução da área foliar e aumento na densidade e profundidade de raízes. No entanto, o fechamento dos estômatos e a redução da área foliar são mecanismos que limitam a produtividade, uma vez que provocam queda na fixação de CO₂ e na interceptação de luz, respectivamente (Mattos *et al.* 1999).

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar os parâmetros biométricos e fisiológicos da fase inicial do pinhão manso, sobre diferentes disponibilidades de água no solo e doses de nitrogênio, na região do semi-árido nordestino.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área da Embrapa Semiárido, em Petrolina - PE, na região do Submédio São Francisco, (latitude 9°8'8,9''S, longitude 40°18'33,6''O, altitude 373 m). O clima da região é

classificado como semiárido, do tipo BSw^h segundo a classificação climática de Köppen. As chuvas se concentram nos meses de novembro a abril, com precipitação média anual em torno de 500 mm, irregularmente distribuída. A umidade relativa média anual é de 66% e a temperatura do ar média anual de 26,5 °C.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com o fatorial de três níveis de irrigação (100; 66 e 33% da disponibilidade de água do solo) e quatro doses de nitrogênio (0; 120; 240; e 360 kg ha⁻¹), com três repetições.

As sementes de pinhão manso foram germinadas e cultivadas em vasos de polietileno com capacidade para 30 dm³, contendo Neossolo Quartzarênico. O solo foi seco ao ar, destorroado, utilizando peneira (5 mm malha) e homogeneizado. As características químicas e de textura encontram-se na Tabela 1.

Após a germinação das sementes de pinhão manso, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso (parcela experimental). As plântulas foram cultivadas durante 15 dias em casa de vegetação com cobertura de sombrite (50%), após este período, os vasos foram transferidos para ambiente aberto para início dos referidos tratamentos.

De acordo com os resultados da análise de solo, foi feita a correção da acidez com a aplicação de calcário dolomítico, 45 dias antes do plantio, além da aplicação de macro e micronutrientes em cada vaso, seguindo a recomendação da Comissão de Fertilizante do Solo do Estado da Bahia (1989). As adubações nitrogenadas com ureia foram realizadas no plantio e em intervalos de 30 dias em função das doses aplicadas para cada tratamento.

As irrigações foram realizadas para elevar a umidade do solo aos níveis determinado para cada tratamento, com o auxílio de tensiômetros, com cápsulas instaladas à profundidade de 0,15 m e irrigado com regador, em turno de rega de dois dias. Com o auxílio da curva de retenção da água no solo, o tratamento de 100% da água disponível era irrigado até atingir a capacidade de campo (16,7 dag kg⁻¹), o de 66% até 13,1 dag kg⁻¹ e o de 33% até 9,5 dag kg⁻¹, sendo o ponto de murcha permanente do solo 5,9 dag kg⁻¹.

Após o plantio o solo foi mantido na capacidade de campo a fim de possibilitar um estande de plantas uniforme. Após a transferência para um ambiente aberto

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado para o cultivo de pinhão manso sob diferentes níveis de irrigação e doses de nitrogênio.

M.O.	N _{Total}	pH H ₂ O	CE _{es}	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³	T
g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	(1:2,5)	dS m ⁻¹	cmol _c dm ⁻³					
10,2	0,21	4,8	0,6	1,4	0,4	0,04	0,28	0,05	3,6
P	V	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila	
mg dm ⁻³	%	mg dm ⁻³				%			
4,2	59	0,2	9,1	12,0	1,1	73,0	19,0	8,0	

Abrev.: CE_{es}, condutividade elétrica do extrato de saturação; M.O., matéria orgânica; P, fósforo disponível extraído por Mehlich⁻¹; N_{Total}, nitrogênio total; Ca⁺², cálcio trocável; Mg⁺², magnésio trocável; Na⁺, sódio trocável; K⁺, potássio trocável; Al⁺³, acidez trocável; T, capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V, saturação por bases; Fe, ferro disponível; Mn, manganês disponível; Cu, cobre disponível; Zn, zinco disponível. Micronutrientes extraídos com Mehlich⁻¹.

iniciou-se a manutenção da umidade do solo dos vasos nos níveis dos tratamentos descritos acima.

Para avaliar as respostas fisiológicas das plantas aos tratamentos, foram avaliadas a fotossíntese, a condutância estomática, a transpiração e a temperatura da folha, com o equipamento IRGA LI-6200 (LICOR®, USA). As leituras foram realizadas em uma folha fisiologicamente madura e não sombreadas, sendo uma folha por planta, entre as 11:00 e 13:00 horas, horário este de elevada demanda evapotranspirométrica, em um dia típico do mês de agosto, sem nebulosidade, para evitar instabilidades causadas por variações rápidas da radiação solar. As leituras foram realizadas um dia após a irrigação.

Aos 120 dias após o plantio foram realizadas avaliações biométricas da parte aérea da planta, mensurando-se a altura da planta com uma fita métrica, diâmetro do caule (medido a 0,05 m do solo) com paquímetro digital, e área foliar total. Para determinar a área foliar total foi utilizado o integrador de área foliar de bancada LI-3100C (LICOR®), com uma resolução de 1 mm².

Após as avaliações biométricas, as plantas foram coletadas e separadas em folhas, caule e raiz, pesadas e acondicionadas em sacos de papel e, em seguida, colocado em estufa a uma temperatura de 60 °C até obterem peso constante. Após a secagem, o material foi pesado em balança de precisão para obtenção da matéria seca.

Os dados amostrados foram submetidos à análise de variância com a realização do teste F e teste de médias TUKEY a 5 e 1% de probabilidade, utilizando-se o programa Sisvar® 5.0 (Ferreira 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características biométricas como altura e área foliar total das plantas de pinhão manso foram influenciadas pela interação entre os fatores: água disponível no solo

e doses de nitrogênio. No entanto, para o parâmetro diâmetro do caule a influência dos fatores foram isolados (Tab. 2).

No desdobramento da interação, com relação à disponibilidade de água no solo, observou-se que a ausência de adubação nitrogenada não interferiu na característica altura (Tab. 3). As doses de nitrogênio de 120 e 240 kg ha⁻¹ proporcionam maior altura de plantas nas condições de 100 e 66% de disponibilidade de água no solo, em relação à disponibilidade de 33%. Para dosagem de 360 kg ha⁻¹, observa-se diferença na altura das plantas apenas entre a disponibilidade de água do solo de 100% (1,10 m) e 33% (0,74 m).

O desdobramento da interação para as doses de nitrogênio em relação a altura de plantas apresentaram modelos quadráticos com o melhor ajuste. Sendo assim, derivando-se a equação de regressão descrita na Tabela 3 é possível encontrar o ponto no qual a dose de N proporciona a maior altura dentro de cada nível de disponibilidade de água no solo. Os resultados corroboram com o estudo de Oliveira (2009), que observou que a curva de crescimento de altura das plantas de pinhão manso, em função de doses crescentes de N, apresentou efeito quadrático, onde houve crescimento em valor absoluto da planta até certa dose utilizada para depois decrescer, sendo o maior valor médio obtido de 0,6324 m, utilizando-se a dose de 2,34 g vaso⁻¹, o que corresponde a 80 kg ha⁻¹.

O comportamento da variável altura, nas disponibilidades de água no solo de 100 e 66%, é também similar ao encontrado por Nascimento *et al.* (2008) que observaram maiores valores nesta característica quando utilizaram doses de N de 120 kg ha⁻¹. Ao se considerar a disponibilidade de água no solo de 33%, a curva observada se assemelha aos resultados de Guimarães e Beltrão (2008), que estudando a altura de plantas de pinhão manso quan-

Tabela 2. Resumo da análise de variância das características biométricas das plantas de pinhão manso.

Fatores de variação	Quadrado Médio		
	Altura	Diâmetro do caule	Área foliar
Água disponível no solo	3557,27**	297,32**	1041699,36**
Doses de N	6632,85**	76,57**	436447,77**
Água disponível X Doses de N	438,73*	9,44 ^{ns}	228020,01**
Resíduo	121,0486	6,1639	61057,09
C.V. (%)	13,12	7,13	57,15

* p<0,05; ** p<0,01; ns, não significativo.

Tabela 3. Interação entre água disponível no solo e doses de nitrogênio sobre a altura e a área foliar total de plantas de pinhão manso.

Água disponível no solo (%)	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				Equação de regressão	R ²
	0	120	240	360		
Altura (cm)						
100	52 a	135 a	101 a	110 a	$\hat{Y} = 60 + 0,5792x - 0,0013x^2$	0,64**
66	42 a	118 a	97,83 a	89 ab	$\hat{Y} = 47,375 + 0,6309x - 0,0015x^2$	0,81**
33	41,33 a	72,67 b	73,67 b	74 b	$\hat{Y} = 42,817 + 0,2762x - 0,0005x^2$	0,94*
Área foliar total (cm²)						
100	192,33 a	1363 a	659,67 a	713 a	$\hat{Y} = 323,87 + 7,6989x - 0,0194x^2$	0,50*
66	212,33 a	501,33 a	731,33 a	243,8 ab	$\hat{Y} = \bar{y} = 422,2$	-
33	50 a	111 b	239,5 a	171,5 b	$\hat{Y} = \bar{y} = 143,0$	-

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada parâmetro biométrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

do submetidas a diferentes dosagens de nitrogênio, sendo a ureia sua fonte, concluíram que a adubação nitrogenada proporcionou ganhos de altura; sendo as dosagens de 255 e 340 kg ha⁻¹ de nitrogênio, as melhores doses.

Ainda que, o incremento em altura tenha efeito quadrático, quando se analisa a menor disponibilidade de água no solo (33%), nota-se que a altura alcançada com os níveis de 120, 240 e 360 kg ha⁻¹ de N permanece quase a mesma, concordando com o trabalho de Kurihara *et al.* (2012) onde observaram que com menor disponibilidade hídrica a altura de plantas tende a permanecer praticamente inalterada.

A área foliar foi afetada pela interação entre os fatores, sendo que o desdobramento de níveis de adubação nitrogenada apresentou significância apenas quando se analisa a disponibilidade de 100% de água disponível. No comportamento do tamanho da área foliar para disponibilidade de água de 66 e de 33%, observou-se que não houve efeito do N. As médias de área foliar para essas disponibilidade de água foram 422,2 cm² e 143,0 cm², respectivamente (Tab. 3). Freiberger (2012) estudando o efeito de doses de N no crescimento de plantas de pinhão manso, concluiu que os valores de área foliar ajustaram-se ao modelo quadrático, onde se estimou valor máximo de 6.469 cm² para a dose estimada de 97 kg ha⁻¹ de N. Oliveira (2013), avaliando o crescimento e a capacidade produtiva em função de adubação mineral no semiárido paraibano, observou que dentre as doses de N estudadas (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹), a maior delas proporcionou o maior número de folhas de pinhão manso, com tendência linear crescente.

O desdobramento do fator disponibilidade de água no solo, dentro de níveis de adubação nitrogenada, para área foliar, demonstrou que na ausência de adubação e na adubação com 240 kg ha⁻¹ não houve diferenças para a disponibilidade de água no solo. Para disponibilidades de água de 100 e 66% não houve diferença para o tamanho da área foliar quando se utilizou 120 e 340 kg ha⁻¹ de N. Na Tabela 2, observa-se que o CV desta variável é elevado, contudo, são observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Silva *et al.* (2011) observaram que a área foliar do pinhão manso é a variável de crescimento mais sensível ao estresse hídrico.

O diâmetro do caule apresentou efeito isolado dos fatores, verificando-se que houve diferença entre todos os níveis de disponibilidade de água no solo, o qual aumentou de acordo com a disponibilidade de água no solo (Tab. 4).

Segundo Silva *et al.* (2011), os níveis de reposição da evapotranspiração promovem efeitos significativos na variável de crescimento do diâmetro do caule do pinhão manso e se ajustam ao modelo linear. Em trabalho com água residual de esgoto doméstico, Silva *et al.* (2011) observaram incrementos lineares na altura da planta, no diâmetro do caule e na área foliar total, ocorrendo devido ao aumento no suprimento de água.

Com relação à adubação nitrogenada, observou-se que o comportamento do diâmetro adequou-se ao modelo

Tabela 4. Diâmetro médio do caule de plantas de pinhão manso.

Água disponível no solo (%)	Diâmetro do caule (mm)
100	39,30 a
66	35,66 b
33	29,46 c

Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

quadrático ($Y = 30,794944 + 0,059467x - 0,000133x^2$) com $R^2 = 0,9563$, onde pode-se observar o nível de N que proporciona o maior diâmetro caulinar, independentemente da quantidade de água disponível no solo.

Estudando o diâmetro de colo de plantas de pinhão manso, Freiberger (2012), mencionou que o aumento da adubação nitrogenada não interferiu no tamanho do mesmo, uma vez que o maior valor para esta variável foi obtido com a ausência da adubação nitrogenada.

De maneira geral, as variáveis de crescimento avaliadas foram influenciadas pela reposição hídrica e/ou pelas doses de N. Em trabalho de Freitas *et al.* (2012), avaliando o efeito de diferentes doses de nitrogênio sobre as características fisiológicas de mudas de pinhão manso, foi constatado que as mudas desenvolvidas com doses de 250 e 350 kg ha⁻¹ de nitrogênio apresentaram-se vigorosas e aptas para plantio em campo.

Os resultados corroboram com Albuquerque *et al.* (2013) que avaliaram o crescimento de plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas a quatro níveis de adubação nitrogenada e quatro níveis de água disponível, em casa de vegetação. Os mesmos verificaram que o crescimento das plantas de pinhão foi influenciado pelo fornecimento de água e nitrogênio, e que o efeito de cada um desses fatores foi interdependente. A adubação nitrogenada favoreceu o crescimento no diâmetro do caule, altura da planta e área foliar, no entanto, essas características foram influenciadas pela água somente quando havia um suprimento adequado de nitrogênio. A eficiência de uso da água foi aumentada quando o nitrogênio foi fornecido.

Com relação ao acúmulo de biomassa fresca e seca de folhas, caule e raízes, foi verificado na análise de variância que os fatores disponibilidade de água no solo e níveis de adubação nitrogenada interagiram entre si e influenciaram todas as variáveis analisadas (Tab. 5).

A biomassa fresca e seca das folhas, no desdobramento de doses de nitrogênio dentro do fator água disponível no solo só apresentou significância para a maior disponibilidade de água (Tab. 6). As curvas se ajustaram num modelo quadrático. Para as disponibilidades de água de 66 e 33%, as doses de nitrogênio não influenciaram a biomassa das folhas de pinhão manso, o que resultou nas médias constantes na Tabela 6. A análise da biomassa fresca e seca do caule na disponibilidade de 100 e 66% de água no solo, ajustou-se melhor ao modelo quadrático, enquanto a disponibilidade de 33% na biomassa fresca se ajustou ao modelo linear. Para biomassa seca do caule não observou-se influência das doses, gerando a média de 41,55g. Ao se analisar a biomassa fresca das raízes, observa-se ajuste quadrático para todos os níveis

Tabela 5. Resumo da análise de variância da biomassa fresca das folhas (BFF), biomassa seca das folhas (BSF), biomassa fresca do caule (BFC), biomassa seca do caule (BSC), biomassa fresca das raízes (BFR) e biomassa seca das raízes (BSR).

Fatores de variação	Quadrado Médio					
	BFF	BSF	BFC	BSC	BFR	BSR
Água disponível no solo	900,57**	46,31**	234402,24**	12036,67**	115802,19**	13782,55**
Doses de N	374,12**	20,61**	186627,23**	8176,24**	30038,74**	2747,16**
Água disp. X Doses de N	200,46**	10,25**	21980,98*	1301,38**	4570,36**	578,66**
Resíduo	48,46	2,50	7486,99	3199,78	593,38	71,45
C.V. (%)	51,69	53,81	19,4	23,56	12,92	14,95

* p<0,05; ** p<0,01 ; ns, não significativo.

de disponibilidade de água testados. Na biomassa seca, o ajuste da lâmina de 33% diferiu da biomassa fresca e não foi influenciado pelas diferentes doses de nitrogênio. Assim, fazendo-se a derivação das funções quadráticas é possível encontrar a dose de N que, dentro de cada nível de água, possibilita a maior biomassa.

A análise do desdobramento das três disponibilidades de água no solo, dentro do fator dose de nitrogênio, resultou nos testes de médias que também são apresentados na Tabela 6. Depreende-se que na ausência de N, para as variáveis de biomassa analisadas nas folhas e caule, não há diferenças entre as mesmas em relação à disponibilidade de água no solo. Contudo, em relação ao sistema radicular, verifica-se que a maior disponibilidade de água propicia maior desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, maior biomassa seca e fresca da mesma. A ausência de diferença na parte aérea pode ser atribuída ao fato de que conforme discutido anteriormente, o pinhão manso, sob estresse hídrico, praticamente, paralisa o crescimento em altura. A biomassa fresca e seca na dose de 120 kg ha⁻¹ apresentaram comportamento

similar, cujos seus aumentos foram proporcionais à disponibilidade de água no solo. Merece destaque, ainda, a biomassa fresca e seca das raízes, onde se verifica que todos os tratamentos com água proporcionam biomassas diferentes, em cada nível de dose de N, sendo a maior biomassa observada naqueles de maior disponibilidade hídrica (Tab. 6).

As maiores produções de biomassa são observadas próximas a dosagem de 120 kg ha⁻¹ de N, na maior disponibilidade de água (Tab. 6). De acordo com Oliveira *et al.* (2013), o desenvolvimento das plântulas de pinhão manso é afetado pelo estresse hídrico, sendo que quanto maior o estresse, menores são os valores encontrados para as características altura, diâmetro, área foliar e biomassa. Os autores informam também que as plantas resistem ao estresse hídrico, porém, a reposição hídrica de 100% da capacidade de campo possibilita maior crescimento da cultura.

De acordo com Lopes *et al.* (2005), a massa seca da planta é um importante parâmetro na avaliação do crescimento, pois sua determinação no ciclo da cultura

Tabela 6. Interação entre água disponível no solo e doses de nitrogênio sobre as variáveis de crescimento em plantas de pinhão manso.

Água disponível no solo (%)	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				Equação de regressão	R ²
	0	120	240	360		
Biomassa Fresca das Folhas (g)						
100	6,27 a	39,77 a	19,3 ab	22,97 a	$\hat{Y} = 10,172 + 0,2112x - 0,0005x^2$	0,46*
66	7,17 a	15,57 b	23,63 a	7,93 b	$\hat{Y} = \bar{y} = 13,58$	-
33	1,4 a	3,55 b	8,15 b	5,9 b	$\hat{Y} = \bar{y} = 4,75$	-
Biomassa Seca das Folhas (g)						
100	1,23 a	8,97 a	4,36 ab	4,83 a	$\hat{Y} = 2,1033 + 0,0506x - 0,0001x^2$	0,50*
66	1,47 a	3,57 b	5,37 a	1,78 ab	$\hat{Y} = \bar{y} = 3,05$	-
33	0,2 a	0,7 b	1,6 b	1,2 b	$\hat{Y} = \bar{y} = 0,93$	-
Biomassa Fresca do Caule (g)						
100	307,92 a	755,87 a	581,67 a	659,46 a	$\hat{Y} = 351,63 + 3,0472x - 0,0064x^2$	0,65**
66	223,55 a	619,74 a	582,14 a	428,8 b	$\hat{Y} = 239,45 + 3,9164x - 0,0095x^2$	0,94**
33	177,20 a	302,78 b	373,90 b	339,54 b	$\hat{Y} = + 214,64 + 0,4651x$	0,70*
Biomassa Seca do Caule (g)						
100	50,13 a	161,7 a	107,87 a	96,03 a	$\hat{Y} = 60,503 + 0,8411x - 0,0021x^2$	0,65**
66	34,73 a	115,5 b	105,07 a	73,7 ab	$\hat{Y} = 38,247 + 0,7896x - 0,0019x^2$	0,93**
33	23,33 a	42,9 c	54,27 b	45,7 b	$\hat{Y} = \bar{y} = 41,55$	-
Biomassa Fresca das Raízes (g)						
100	153,2 a	310,8 a	347,03 a	348,47 a	$\hat{Y} = 157,53 + 1,4944x - 0,0027x^2$	0,98**
66	94,96 b	227,47 b	226,06 b	178,87 b	$\hat{Y} = 99,372 + 1,3317x - 0,0031x^2$	0,96**
33	61,1 b	107,53 c	116,1 c	90,23 c	$\hat{Y} = 61,272 + 0,5318x - 0,0013x^2$	0,99*
Biomassa Seca das Raízes (g)						
100	47,03 a	113,03 a	101,5 a	109,6 a	$\hat{Y} = 51,892 + 0,5087x - 0,001x^2$	0,83**
66	27,83 b	64,27 b	65,33 b	47,1 b	$\hat{Y} = 28,637 + 0,3907x - 0,0009x^2$	0,98**
33	17,63 b	28,8 c	31,5 c	24,7 c	$\hat{Y} = \bar{y} = 25,66$	-

possibilita estimar o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Os resultados obtidos na avaliação da biomassa corroboram com o estudo de Roza (2010), que concluiu que a produção de biomassa seca obtida em tratamento com o maior estresse hídrico foi inferior aos demais tratamentos, onde a inferioridade chegou a 9,4 vezes em relação ao tratamento com maior disponibilidade hídrica. Moraes (2010) estudando o impacto da nutrição mineral no crescimento do pinhão manso concluíram que os padrões de comportamento apresentado tanto pela acumulação de massa seca das folhas quanto pelo crescimento em altura das plantas de pinhão manso se correlacionaram bem mais com o conteúdo total de N no tecido foliar do que com os conteúdos de P e K.

Tikkoo *et al.* (2013), estudaram o manejo de água e de nutrientes no potencial produtivo de pinhão manso quanto aos impactos da irrigação e de nutrientes na semente e rendimento de óleo em condições semiáridas do noroeste da Índia, e observaram que a produtividade do pinhão manso aumentou com a aplicação de 90 kg de N e 60 kg de K₂O/ha e com duas irrigações, assim como o teor e o rendimento de óleo das sementes. Por outro lado, Carvalho *et al.* (2013) estudando os efeitos de diferentes lâminas totais aplicadas durante o experimento (735,53; 963,30; 1.191,03; 1.418,82 e 1.646,60 mm) e níveis de adubação nitrogenada (0; 25; 50 e 75 kg/ha de N) no crescimento da cultura do pinhão manso, observaram

que a fitomassa epigea não foi influenciada significativamente por nenhuma das doses de adubação nitrogenada utilizada, contudo a altura aumentou linearmente com a adição de lâminas de água, alcançando valores máximos com a maior lâmina.

Na Tabela 7 pode-se verificar que não houve interação significativa entre a água disponível no solo e as doses de nitrogênio apenas para a variável temperatura foliar, a qual não apresentou significância também quanto as doses de nitrogênio. As variáveis condutância estomática e transpiração apresentaram significância de 0,05 de probabilidade na comparação das doses de nitrogênio, sendo que nas demais a significância observada foi de 0,01. A disponibilidade de água no solo apresentou alta significância em todas as variáveis fisiológicas analisadas ($p < 0,01$), mostrando ser o fator regulador dos parâmetros fotossintéticos.

Pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, observa-se que, nos níveis de 100 e 66% de disponibilidade de água, as taxas fotossintéticas do pinhão manso mostraram-se superiores a do nível de 33% (Tab. 8), corroborando com Ni e Pallardy (1992), que afirmam que como a abertura estomática regula a saída de vapor de água da planta (transpiração) e, ao mesmo tempo, a entrada de CO₂ para a fotossíntese, o decréscimo nos potenciais hídricos induzem o fechamento estomático.

Para as doses de nitrogênio, a fotossíntese se compor-

Tabela 7. Resumo da análise de variância das variáveis fisiológicas avaliadas do pinhão manso.

Fatores de variação	Quadrado Médio				
	A	gs	E	Tf	A/E
Água disponível	5,40361**	0,137033**	5,283886**	1,093611**	0,147562**
Doses de nitrogênio	1,749907**	0,009966*	0,207432*	0,3076 ^{ns}	0,055736**
Água disp. X Doses de Nit.	1,209907**	0,013941**	0,674294**	0,105463 ^{ns}	0,020126**
Resíduo	0,070556	0,0030053	0,058706	0,168333	0,003663
C.V. (%)	7,71	9,54	4,11	1,24	10,32

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ns, não significativo.

Abreviaturas: A, Taxa de fotossíntese; gs, condutância estomática; E, transpiração; Tf, Temperatura foliar; A/E, eficiência instantânea do uso da água.

Tabela 8. Taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) e eficiência instantânea do uso da água (A/E) em plantas de pinhão manso.

Água disponível no solo (%)	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				Equação de regressão	R ²
	0	120	240	360		
	A (μmol.m⁻² s⁻¹)					
100	3,13 b	4,10 a	3,9 a	4,63 a	$\hat{Y} = 3,2967 + 0,0036x$	0,79**
66	4,3 a	3,07 b	3,37 a	4,13 a	$\hat{Y} = 4,2467 - 0,0127x + 3.10^{-5}x^2$	0,94**
33	3,43 b	2,56 b	1,6 b	3,13 b	$\hat{Y} = 3,5633 - 0,0166x + 4.10^{-5}x^2$	0,82**
	gs (mol.m⁻² s⁻¹)					
100	0,55 a	0,7 a	0,79 a	0,77 a	$\hat{Y} = -3.10^{-6}x^2 + 0,0017x + 0,5438$	0,99*
66	0,53 a	0,50 b	0,52 b	0,53 b	$\hat{Y} = \bar{y} = 0,52$	--
33	0,52 a	0,52 b	0,51 b	0,51 b	$\hat{Y} = \bar{y} = 0,51$	--
	E (mmol.m⁻² s⁻¹)					
100	5,97 a	6,24 a	7,40 a	6,93 a	$\hat{Y} = 5,841 + 0,008x - 1.10^{-5}x^2$	0,75*
66	5,70 a	5,2 b	5,3 b	5,27 b	$\hat{Y} = \bar{y} = 5,37$	--
33	5,95 a	5,63 b	5,46 b	5,60 b	$\hat{Y} = \bar{y} = 5,66$	--
	A/E					
100	0,52 b	0,66 a	0,53 a	0,67 ab	$\hat{Y} = \bar{y} = 0,60$	--
66	0,76 a	0,59 a	0,64 a	0,78 a	$\hat{Y} = 0,7496 - 0,0018x + 5.10^{-6}x^2$	0,97**
33	0,58 b	0,46 b	0,29 b	0,56 b	$\hat{Y} = 0,6009 - 0,0026x + 7.10^{-6}x^2$	0,78**

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

tou de forma diferente em cada nível de umidade. Com uma disponibilidade de 100% de água no solo houve um aumento das taxas fotossintéticas com o aumento das doses. Quando houve a redução da disponibilidade de água no solo pode-se verificar um comportamento parabólico das taxas fotossintéticas, nos quais as doses de 0 e 360 kg ha⁻¹ de nitrogênio apresentaram maiores valores.

Pode-se verificar que houve uma redução significativa dos valores de condutância estomática com a redução da disponibilidade de água no solo, sendo que apenas a dose com 0 kg ha⁻¹ de N não apresentou diferença significativa. Quando o solo estava com seu máximo potencial de disponibilidade de água os valores de condutância apresentaram comportamento diretamente proporcional às doses de nitrogênio aplicadas.

O mesmo comportamento descrito acima foi observado para os valores de transpiração foliar, sendo as plantas que receberam um suprimento de 100% da disponibilidade de água do solo, as que apresentaram as maiores taxas fotossintéticas. Quanto às doses de nitrogênio, verificou-se que a redução para 33 e 66% do suporte hídrico, as plantas apresentaram taxas fotossintéticas não diferindo entre si, com uma média de 5,66 e 5,37 mmol m⁻²s⁻¹, respectivamente.

Os resultados encontrados corroboram com os observados por Luis (2008), que avaliando déficits hídricos no pinhão manso, encontrou uma redução da condutância estomática, da transpiração e da fotossíntese com o aumento do déficit. Os resultados biométricos e fisiológicos deste trabalho corroboram com a informação de Taiz e Zeiger (2009), onde a redução da condutância estomática, pode acarretar prejuízos às plantas, como redução na disponibilidade de substrato (CO₂) para a atividade fotossintética e conseqüentemente redução no seu desenvolvimento, como observada para os tratamentos de 100 e 66% de disponibilidade de água no solo.

No geral, as plantas que receberam apenas 66% da disponibilidade hídrica do solo apresentaram maior eficiência instantânea do uso da água, se destacando nas aplicações das doses 0 e 360 kg ha⁻¹, com 0,76 e 0,78 μmolCO₂.mmolH₂O⁻¹.

Na avaliação da temperatura foliar para os diferentes níveis de disponibilidade de água no solo (100; 66 e 33%), observou-se diferença significativa entre os parâmetros, tendo um decréscimo da temperatura foliar com o aumento da disponibilidade hídrica. Para os tratamentos com 33 % de disponibilidade hídrica, a temperatura foliar (33,38 °C) foi estatisticamente superior a do tratamento com 100 % (32,78 °C). Tal comportamento fora observado por Vieira et al. (2014) ao avaliarem indicadores fisiológicos da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação. Os mesmos verificaram que os tratamentos que receberam maiores lâminas apresentaram temperaturas próximas à temperatura ambiente, diferindo dos que receberam as menores lâminas, os quais apresentaram valores superiores à do ambiente, chegando a 6,35 °C de diferença.

Neste contexto, fundamentado nos resultados alcança-

dos neste estudo, conclui-se que a dose de N e a disponibilidade de água no solo interferem significativamente na produção de biomassa e na fisiologia das plantas de pinhão manso, sendo a umidade na capacidade de campo do solo e a dose de nitrogênio próximo a 120 kg ha⁻¹ as mais recomendadas para o desenvolvimento inicial da cultura.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. A., CASTRO, N. H. A., BELTRÃO, N. E. M., LUCENA, A. M. A., SOUZA, S. L., FREIRE, M. A. O. & SAMPAIO, L. R. 2009. Análise de crescimento inicial do *Jatropha curcas* L. em condições de sequeiro. *Revista Brasileira de Oleaginosas Fibras*, 13(3): 99-106.
- ALBUQUERQUE, W. G., SEVERINO, L. S. & BELTRÃO, N. E. M. 2013. Growth and biomass allocation of *Jatropha curcas* plants as influenced by nitrogen under different soil moisture regimes. *Research on Crops*, 14(3): 928-934.
- ARRUDA, F. P., BELTRÃO, N. E. DE M., ANDRADE, A. P., PEREIRA, W. E. & SEVERINO, L. S. 2004. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras*, 8(1): 789-799.
- CARVALHO, C. M., VIANA, T. V. A., MARINHO, A. B., LIMA JÚNIOR, L. A. L. & VALNIR JÚNIOR, M. 2013. Pinhão-manso: Crescimento sob condições diferenciadas de irrigação e de adubação no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(5): 487-496.
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO – CEFS BA. *Manual de adubação e calagem para o estado da Bahia*. Salvador: CEPAC/EMATERBA/ EMBRAPA/ EPABA/NITROFÉRTIL, 1989. 173p.
- FERREIRA, D. F. *Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e planejamento de experimentos – SISVAR 5.0 (Build 67)*. Lavras: DEX/UFLA, 2003.
- FREIBERGER, M. B. 2012. *Crescimento inicial e nutrição do pinhão-manso em função da adubação NPK*. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Botucatu: Universidade Estadual Paulista/Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2012.
- FREITAS, R. G., ARAUJO, S. F., MATOS, F. S., MISSIO, R. F. & DIAS, L. A. S. 2012. Desenvolvimento de mudas de pinhão manso sob diferentes doses de nitrogênio. *Revista Agrotecnologia*, 3(2): 24-35.
- GUIMARÃES, A. S. & BELTRÃO, N. E. M. Análise do tecido vegetal do pinhão manso, submetidos a fontes e doses de nitrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA: Energia e Ricinóquímica, 3., 2008. *Anais...* Salvador: EMBRAPA-Algodão. 2008. p.117.
- KURIHARA, C. H., PELLIN, D. M. P. & FREITAS, L. A. Acúmulo de massa seca e crescimento de pinhão-manso em latossolo vermelho distroférrico típico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2010. *Anais...* Uberlândia: SBCS.
- LAVIOLA, B. G., MARTINEZ, H. E. P., SOUZA, R. B. & VENEGAZ, V. H. A. 2007. Dinâmica de N e K em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. *Bioscience Journal*, 22(3): 33-47.
- LEITE, C. V. 2011. *Irrigação e adubação nitrogenada do Pinhão manso (Jatropha curcas L.) na região Leste de Minas Gerais*. 52f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2011.
- LELE, S. The cultivation of *Jatropha curcas*, 2006. Disponível em: <<http://www.svlele.com/jatrophaplant.htm>>. Acesso em 08. ago. 2010.
- LOPES, J. S., DOURADO NETO, D., MANFRON, P. A., MEDEIROS, S. L. P., BRUM, B. & COUTO, M. R. M. 2005. Ajuste de modelos para descrever a fitomassa seca da parte aérea da cultura do milho em função de graus-dia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 13(1): 73-80.
- LUIS, R. M. F. C. B. 2008. *Respostas de Jatropha curcas L. ao déficit hídrico Caracterização bioquímica e ecofisiológica*. 2008. 62f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônoma). Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2008.

- MAGGIOTTO, S. R. 1996. *Estimativa da evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho*. Piracicaba, SP: Esalq-USP. 71 p.
- MATTOS, E.A., HERZOG, B. & LÜTTGE, U. 1999. Chlorophyll fluorescence during CAM-phases in *Clusia minor* L. under drought stress. *Journal of Experimental Botany*, 50(331): 253-261.
- MORAIS, D. L. 2010. *Impacto da nutrição mineral no crescimento do pinhão manso (Jatropha curcas L.)*. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Campina Grande - Centro de Saúde e Tecnologia Rural Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Patos, 2010.
- NASCIMENTO, J. J. V. R., OLIVEIRA, S. J. C., AZEVEDO, C. A. V., NOBREGA, J. A. & TAVARES, M. J. V. Influência da adubação nitrogenada no crescimento inicial do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 5. 2008. *Anais...* Campina Grande: UFCG.
- NI B. R. & PALLARDY S. G. 1992. Stomatal and nonstomatal limitations to net photosynthesis in seedlings of woody angiosperms. *Plant Physiology*, 99: 1502-1508.
- OLIVEIRA, A. R., DANTAS, B. F. & SANTOS, B. L. S. *Tolerância de plântulas de pinhão manso (Jatropha curcas L.) ao estresse hídrico*. Petrolina: Embrapa Semiárido. (Boletim de Pesquisa, prelo). 2013.
- OLIVEIRA, D. F. S. 2013. *Crescimento e produção de pinhão manso em função da fertilização nitrogenada e adição de resíduos sólidos orgânicos*. 40f. Monografia (Graduação em Ciências Agrárias). Catolé do Rocha: Universidade Federal da Paraíba – Departamento de Ciências Agrárias. 2013.
- OLIVEIRA, E. L., FARIA, M. A., EVANGELISTA, A. W. P. & MELO, P. C. 2012. Resposta do pinhão-manso à aplicação de níveis de irrigação e doses de adubação potássica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(6): 593-598.
- OLIVEIRA, S. J. C. 2009. *Componentes de crescimento do pinhão manso (Jatropha curcas L.) em função da poda e adubação química*. 126f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências Agrárias, Areia, 2009.
- RAIJ, B. V. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p.
- ROZA, F. A. 2010. *Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de Jatropha curcas L. submetidas à deficiência hídrica*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2010, 67f.
- SATURNINO, H. M., PACHECO, D. D., KAKIDA, J., TOMINAGA N. & GONÇALVES, N. P. 2005. Produção de oleaginosas para o biodiesel. *Informe Agropecuário*, 26(229): 44-74.
- SILVA, M. B. R., FERNANDES, P. D., DANTAS NETO, J., NERY, A. R., RODRIGUES, L. N. & VIÉGAS, R. A. 2011. Crescimento e produção do pinhão-manso irrigado com água residuária sob condições de estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(6): 621-629.
- TAIZ, L & ZEIGER, E. 2009. *Fisiologia Vegetal*. 4 ed. Porto Alegre: Artmed. 820 p.
- TIKKOO, A., YADAV, S. S. & KAUSHIK, N. 2013. Effect of irrigation, nitrogen and potassium on seed yield and oil content of *Jatropha curcas* in coarse textured soils of northwest India. *Soil & Tillage Research*, 134: 142-146.
- VIEIRA, G. H. S., MANTOVANI, E. C., SEDIYAMA, G. C. & DELAZAR, F. T. 2014. Indicadores morfo-fisiológicos do estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. *Bioscience Journal*, 30(3): 65-75.