

Produção e eficiência no uso de água da cebolinha adubada com cinza vegetal em vasos Leonard adaptados**Production of chives fertilized with wood ash in adapted Leonard pots**

DOI:10.34117/bjdv6n6-315

Recebimento dos originais: 10/05/2020

Aceitação para publicação: 13/06/2020

Edna Maria Bonfim-Silva

Professor doutor, Universidade Federal de Rondonópolis – UFR, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas - ICAT, Cidade Universitária, CEP: 78736-900, Rondonópolis-MT.

Fone: (66) 3410 4104.

E-mail: embonfim@hotmail.com

Mireia Romano Ferreira Pinto

Engenheira Agrícola e Ambiental, UFR/ICAT, Rondonópolis-MT.

E-mail: mireiaromano0711@gmail.com

André Pereira Freire Ferraz

Pós-doutorando – PNPd/CAPES, UFR/ICAT, Rondonópolis-MT.

E-mail: andrepfferraz@gmail.com

Júlio José Nonato

Doutorando em Agricultura Tropical, Faculdade de Agronomia e Zootecnia (FAAZ), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, CEP: 78060-900

Tonny José Araújo da Silva

Professor doutor, UFR/ICAT, Rondonópolis-MT.

E-mail: tonnyjasilva@hotmail.com

RESUMO

A cinza vegetal é rica em nutrientes e apresenta elevado potencial corretivo do solo. Assim, pode proporcionar às culturas aumento significativo de produção. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a produção e eficiência no uso da água na cultura da cebolinha adubada com cinza vegetal associada a auto irrigação por capilaridade em vasos tipo Leonard adaptados em duas classes de solo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Rondonópolis – MT, em recipientes de 1 dm³ de solo, com cinco doses de cinza vegetal (0, 8, 16, 24, 32 g dm⁻³) e duas classes de solos (Latosolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico), com quatro repetições. As variáveis analisadas foram: pH do solo; altura de plantas; diâmetro do colmo; número de folhas; área foliar; índice de clorofila; massa seca de folhas, de colmo e de raiz; volume de raiz; e eficiência no uso da água (EUA). Os resultados foram submetidos a análise de variância e de regressão ($p \leq 0,05$). A cinza vegetal resultou em aumento do pH do solo, com ajuste linear, atingindo o valor de $6,40 \pm 0,20$ na dose de 32 g dm⁻³. Maiores valores de pH foram observados no Neossolo ($5,62 \pm 0,89$). Para as demais variáveis resposta houve efeito das doses de cinza ou das classes de solo, exceto para o índice de clorofila. Houve interação significativa para massa seca de raiz e EUA. De modo geral, doses de cinza entre 16 e 24 g dm⁻³ favoreceram a produção da cebolinha, e o Neossolo evidenciou maior potencial de cultivo.

Palavras chave: *Allium schoenoprasum*; características fitométricas; resíduo sólido na agricultura.

ABSTRACT

Wood ash is rich in nutrients and has a high soil corrective potential. Thus, it can provide cultures with a significant increase in production. In this context, the objective was to evaluate the production and water use efficiency in chives fertilized with wood ash associated with auto-irrigation by capillarity in Leonard type pots adapted in two soil classes. The experiment was carried out in a greenhouse at Federal University of Rondonópolis - MT, in pots of 1 dm³ of soil, with five doses of wood ash (0, 8, 16, 24, 32 g dm⁻³) and two soil classes (Oxisol and Quartzarenic Neosol), with four repetitions. The response variables were: soil pH; plant height; stem diameter; number of leaves; leaf area; chlorophyll index; leaves, stem and root dry mass; root volume; and water use efficiency (WUE). Results were subjected to analysis of variance and regression ($p \leq 0.05$). Wood ash resulted in an increase in soil pH, with linear adjustment, reaching 6.40 ± 0.20 in wood ash dose of 32 g dm⁻³. Higher pH values were observed in Neosol (5.62 ± 0.89). For the other response variables, there was an effect of wood ash doses or soil classes, except for chlorophyll index. There was significant interaction for root dry mass and WUE. In general, wood ash doses between 16 and 24 g dm⁻³ favored production of chives, and Neosol showed greater potential for cultivation.

Keywords: *Allium schoenoprasum*; phytometric characteristics; solid waste in agriculture.

1 INTRODUÇÃO

As hortaliças apresentam elevado valor econômico, e são capazes de proporcionar incrementos significativos de receita líquida quando exploradas de forma tecnificada e intensiva, com fornecimento de água e nutrientes em quantidades precisas (Minami, 1995; Selwyn, 2008; Hirata et al., 2017).

Dentre as hortaliças, a cebolinha (*Allium schoenoprasum* L.) é uma hortaliça folhosa considerada perene (Tatlioglu, 1993), sendo popular devido a sua larga escala de produção no Brasil, principalmente por pequenos produtores. É uma cultura que se adapta a diversas classes de solos, porém sua produção é considerada melhor em solos com alto teor de matéria orgânica, argilo-arenosos, com pH entre 6,0 e 6,5 e bem drenados (Filgueira, 2008). Nesse sentido, como ocorre em outras culturas, o crescimento e desenvolvimento adequados da cebolinha são dependentes de uma combinação de fatores, como a água do solo, nutrição mineral e a classe de solo (Tavella et al., 2010; Hirata et al., 2017). Esses fatores podem determinar a taxa de crescimento das plantas, e consequentemente, sua produtividade.

A umidade e a quantidade de nutrientes do solo são fatores que influenciam o suprimento de nutrientes às plantas (Scherer, 2005), otimizando a sua absorção. Assim, em solos mais compactados ou com baixa umidade, a difusão do potássio no solo diminui (Costa et al., 2009), bem como o crescimento do sistema radicular (Ishaq et al., 2001).

Outro fator que influencia o desenvolvimento da cultura é o tipo de substrato utilizado, que define o tamanho das partículas e consequentemente a textura e a porosidade do solo e a intensidade

de percolação da água (van Lier, 1997; Wienhold et al., 2005). No entanto, em condições climáticas variáveis, o aumento da população, melhorias nas dietas e uma demanda crescente por insumos alternativos na agricultura devem aumentar a necessidade de uma produção agrícola mais eficiente (Rosegrant et al., 2009; Saath e Fachinello, 2018).

O cultivo contínuo de áreas agrícolas normalmente leva a um desequilíbrio na fertilidade do solo, dada a extração de nutrientes, podendo ocorrer deficiências nutricionais na cultura. Desse modo, a cinza vegetal tem sido utilizada na agricultura para fins de adubação, além de corrigir a acidez do solo (Naylor e Schmidt, 1986; Arshad et al., 2012). Muitas vezes algum nutriente pode estar presente em quantidades suficientes no substrato, mas não estar disponível para as plantas devido a condições desfavoráveis de pH, por exemplo.

Estudos tem demonstrado o efeito positivo da cinza, no solo e na planta, no cultivo de amendoim - *Arachis hypogaea* L. (Bonfim-Silva et al., 2020); rúcula - *Eruca sativa* L. (Bonfim-Silva et al., 2017); milho - *Zea mays* L. 'Tuxedo' (Erich e Ohno, 1992); *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden (Gonçalves e Moro, 1995); cevada - *Hordeum vulgare* L., canola - *Brassica rapa* L. e ervilha - *Pisum sativum* L. (Arshad et al., 2012), nas gramíneas forrageiras *Urochloa brizantha* cv. Paiaguás (Bezerra et al., 2019) e cv. marandu (Bonfim-Silva et al., 2013), entre outras culturas. No entanto, a literatura ainda é escassa quanto ao efeito da cinza vegetal em plantas do gênero *Allium* L., e menos ainda especificamente com a cultura da cebolinha.

As folhas da cebolinha são responsáveis pela maior parte dos nutrientes absorvidos. Considerando as quantidades totais absorvidas (folhas, bulbo e raiz), o potássio é o nutriente mais exportado pela cultura, cerca de 81% dos macronutrientes (Belfort e Haag, 1983). Esses autores verificaram que, considerando somente a parte aérea, a quantidade total de nutrientes absorvidos, por hectare, correspondeu a: 12,2 kg de N; 11,4 kg de K; 3,8 kg de P; 3,2 kg de Ca; 2,4 kg de Mg; 1,5 kg de S e 16,9 kg de B, para uma população de 200.000 plantas ha⁻¹. Araújo et al. (2016) também observaram que a maior absorção de nutrientes pela cebolinha seguiu a ordem N > K > P na parte aérea.

Nesse contexto, Ferreiro et al. (2011) verificaram elevação do teor de K no solo após aplicação de cinza vegetal, a qual apresenta, de modo geral, elevados teores de Ca, P, K e Mg. Esse resíduo sólido provém da combustão de material vegetal em diversas atividades industriais.

As indústrias alimentícia e de papel e celulose estão entre as principais produtoras desse tipo de resíduo, e no Brasil, essas indústrias apresentam tendência de crescimento (Saath e Fachinello, 2018). Assim, além de representar um insumo agrícola de baixo custo, o uso da cinza vegetal na agricultura como fonte de nutrientes torna-se uma alternativa importante porque, ao mesmo tempo, reduz o potencial poluente desse material nos locais de descarte (Arshad et al., 2012).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a produção e eficiência no uso da água na cultura da cebolinha (*Allium schoenoprasum* L.) adubada com doses de cinza vegetal, combinado com o processo de auto irrigação por capilaridade em vasos tipo Leonard adaptados em duas classes de solos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal Rondonópolis-MT, no período de agosto a dezembro de 2019. Foi utilizada a cultura da cebolinha (espécie *Allium schoenoprasum* L.). A cinza vegetal utilizada foi proveniente da combustão de madeira de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) em caldeiras de uma indústria alimentícia para produção de energia, da região de Rondonópolis. Antes da instalação do experimento, a cinza vegetal foi analisada quimicamente (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química da cinza vegetal de madeira de Eucalipto

pH (CaCl ₂)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	SO ₄	Zn	Mo	Fe	Mn	B	Si
	----- g/kg ⁻¹ -----											
10,7	0,31	0,96	3,47	3,30	2,10	0,20	0,01	0,05	1,03	0,04	0,01	27,44

Os solos utilizados no experimento foram o Latossolo Vermelho e o Neossolo Quartzarênico, provenientes de áreas sob vegetação do Cerrado e coletados na camada de 0-0,20 m de profundidade (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização química do Latossolo Vermelho e do Neossolo Quartzarênico, coletados na profundidade de 0-0,20 m de profundidade

pH CaCl ₂	P	K	S	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	m
	---- mg dm ⁻³ ---			----- cmolc dm ⁻³ -----				-----		----- % -----	
Latossolo Vermelho											
4,0	1,3	33,0	2,0	0,4	0,2	5,7	1,1	0,7	6,4	10,7	61,8
Neossolo Quartzarênico											
4,1	1,1	12,0	7,1	0,2	0,2	3,8	0,8	0,4	4,2	10,4	65,0

O Latossolo Vermelho foi proveniente da área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR) (latitude: 16°27'43.37"S e longitude: 54°34'49.32"O) e o Neossolo

Quartzarênico do Instituto Mato-grossense do Algodão (IMA-MT), cidade de Rondonópolis (latitude: 16°33'26.94"S e longitude: 54°37'58.28"O).

2.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, correspondentes a cinco doses de cinza vegetal (0, 8, 16, 24 e 32 g dm⁻³) e duas classes de solo (Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico), com quatro repetições.

Foram utilizados vasos tipo Leonard adaptados (Figura 1) confeccionados com garrafas PET (Politereftalato de etileno) de 2 L, que foram cortadas com a finalidade de que na metade superior houvesse capacidade para 1 dm³ de solo e na outra metade seria o reservatório de água.

Foram feitos furos de 1 cm de diâmetro nas tampas das garrafas PET, por onde foram introduzidos 14 fios de lã, com comprimento de 30 cm. Esses fios de lã foram responsáveis pelo transporte de água entre o reservatório (parte inferior) e o solo (parte superior). Dessa forma, 15 cm ficavam no reservatório de solo e a outra metade se encontra submerso no reservatório de água, o qual foi responsável pela irrigação por capilaridade.

2.3 INCUBAÇÃO DO SOLO

Os solos e a cinza vegetal foram coletados e levados ao laboratório. Foram separados 40 sacos de plástico (30 cm x 20 cm) onde foram colocados 1dm³ de solo em cada um deles, sendo metade destinado ao solo Latossolo Vermelho e a outra metade ao solo Neossolo Quartzarênico. Em seguida, foram adicionadas as doses de cinza vegetal aos solos nos sacos plásticos e feita a incorporação com adição de 200 mL de água em cada para a reação química de correção. O solo foi incubado por um período de 30 dias. Após o período de incubação os solos foram transferidos para os vasos tipo Leonard adaptados.

2.4 TRANSPLANTIO DE MUDAS

As mudas foram adquiridas no comércio local, da mesma espécie e de tamanhos homogêneos. O transplântio foi realizado no dia 01 de novembro de 2019, com 3 touceiras da cultura cebolinha por vaso (Figuras 2).

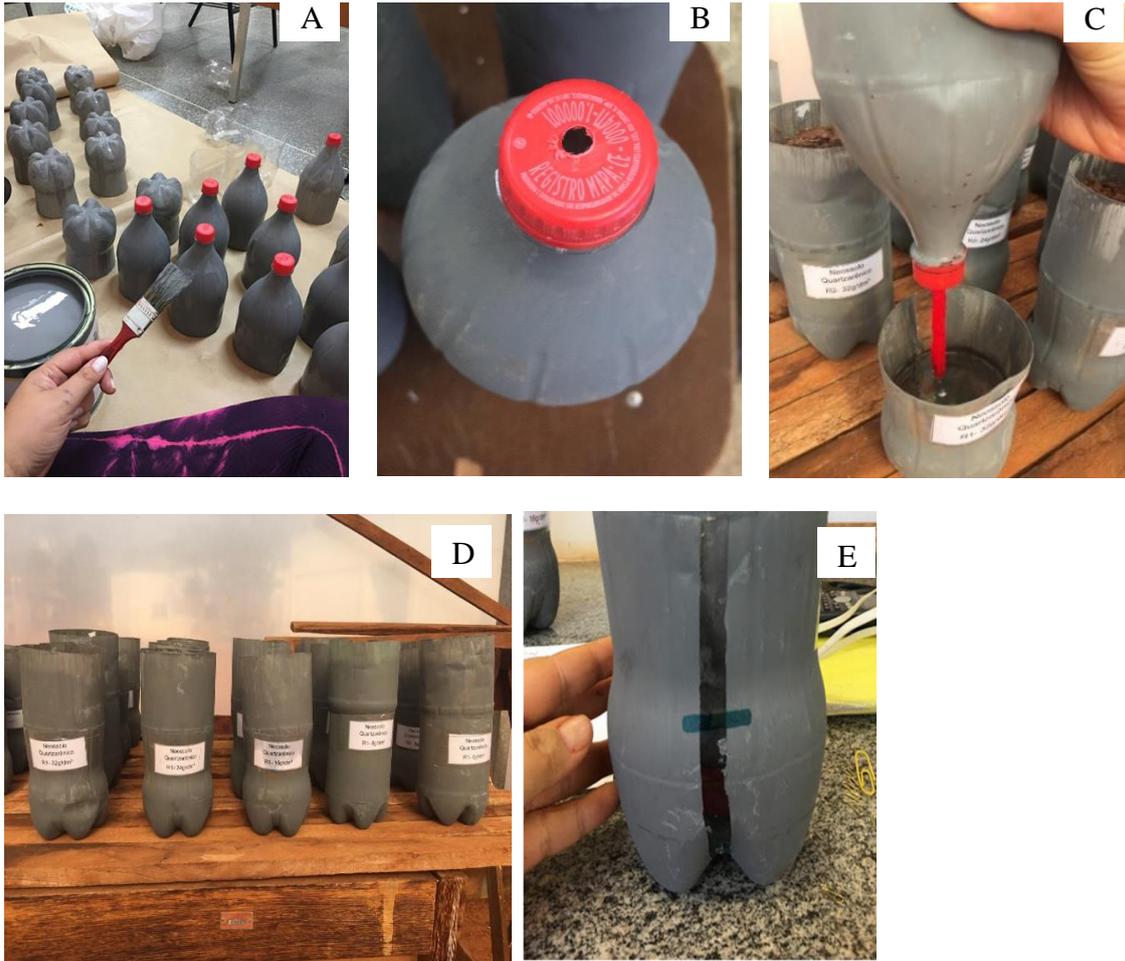


Figura 1. Vasos tipo Leonard adaptados: corte e pintura das garrafas PET (A), furo na tampa para passagem dos fios de lã e condução da água por capilaridade (B), tubo de plástico acoplado à tampa por onde foram introduzidos os fios de lã (C), disposição dos vasos nas bancadas (D) e marcação para monitoramento do nível de água no reservatório inferior (E).



Figura 2. Transplântio da cultura da cebolinha realizado em Latossolo Vermelho (A) e no Neossolo Quartzarênico (B) em vasos tipo Leonard adaptados.

2.5 MONITORAMENTO DE NECESSIDADE HÍDRICA

Inicialmente, foram disponibilizados 400 mL de água no reservatório e a reposição de água realizada, quando necessário, com um volume conhecido. A necessidade de reposição era observada através de uma abertura retangular, que abrangia desde a extremidade mais alta a mais baixa do vaso, que não foi pintada como o restante da garrafa (Figura 1E) para funcionalidade com visio no monitoramento da reposição de água no sistema.

A umidade do solo foi mantida, por capilaridade, através dos fios de lã que conectavam a parte inferior (reservatório de água) com a superior (solo), os quais foram mantidos na capacidade de campo devido a presença de água no reservatório (Figura 1). O monitoramento foi realizado até o desenvolvimento das plantas, quando foi realizada a colheita.

2.6 VARIÁVEIS ANALISADAS

Durante o período experimental foram monitoradas, diariamente, a temperatura e umidade relativa do ar na casa de vegetação. Essas medições foram realizadas por meio de Termo Higrômetro Digital, uma vez ao dia, durante trinta dias (Figura 3).

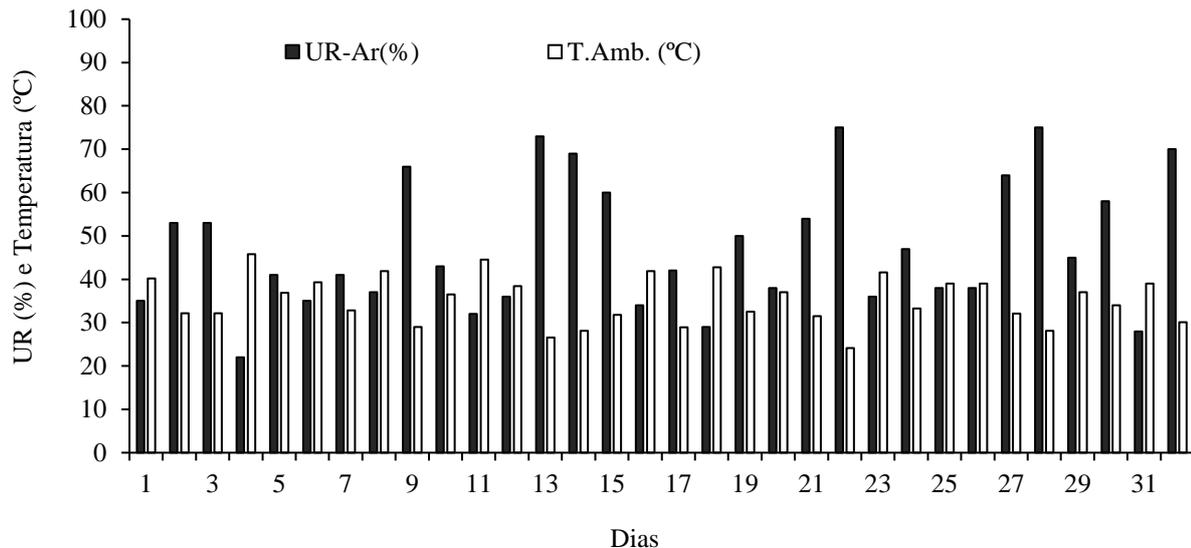


Figura 3. Monitoramento diário da umidade relativa do ar (%) e temperatura ambiente (°C) em casa de vegetação.

No momento da colheita do experimento (30 dias após o transplante), foram avaliadas as seguintes variáveis: pH do solo, altura de plantas, diâmetro do colmo, número de folhas, área foliar, índice de clorofila (FALKER), massa seca de folhas, massa seca de colmo, massa seca de raiz, volume de raiz e eficiência no uso da água.

PH DO SOLO

A leitura de pH foi realizada em amostras de solo coletadas em todas as parcelas experimentais por ocasião da coleta do experimento. As leituras foram realizadas com pHmetro digital, utilizando como solução o Cloreto de Cálcio (CaCl_2 0,01M), na relação solução:solo de 2,5:1.

VARIÁVEIS FITOMÉTRICAS E ÍNDICE DE CLOROFILA (ICL):

Altura de plantas: foram escolhidas, de modo aleatório, três plantas. A medição foi realizada com auxílio de uma trena graduada, sendo que as medidas foram efetuadas da superfície do solo até a extremidade de cada uma das plantas; *Diâmetro de colmo:* medição realizada em três plantas por vaso, escolhidas aleatoriamente, com auxílio de paquímetro digital; *Número de folhas:* obtido através de contagem manual; *Área Foliar:* medida através do integrador digital de área foliar, modelo LI-3100C (LI-COR Biosciences); *Índice de clorofila (ICL):* o índice de clorofila foi avaliado em três folhas escolhidas aleatoriamente em cada unidade experimental utilizando-se o medidor portátil crolfiLOG modelo CFL1030;

VARIÁVEIS DE PRODUTIVIDADE:

Massa seca da parte aérea e de raízes: após a colheita, foi realizada a separação manual das plantas em folhas, colmos e raízes; *Volume e massa seca de raiz:* as raízes das plantas foram lavadas em água corrente para remoção do solo. As raízes lavadas foram colocadas em uma proveta de 50 mL contendo previamente um volume conhecido de água. Em seguida, o sistema radicular das três plantas de cada parcela foi colocado na proveta. Assim, o deslocamento do nível da água forneceu o volume das raízes. O material separado foi acondicionado em sacos de papel para secagem em estufa de circulação forçada de ar entre 65°C por 72 horas (Silva e Queiroz, 2002). Após a secagem as amostras foram pesadas em balança semi-analítica. A massa seca total (folhas+colmo+raiz) das plantas foi utilizada para o cálculo da *eficiência no uso da água* (EUA) pela cultura, a qual correspondeu ao quociente entre a massa seca total (MS) e o consumo de água (L) pela cultura após 30 dias de crescimento ($EUA = g\ MS\ L^{-1}$).

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F. Quando significativos, para os fatores qualitativos foi considerado o teste F, por haver dois níveis (classes de solo). Os fatores quantitativos (doses de cinza vegetal) foram avaliados por meio de análise de regressão. Todos os resultados foram considerados significativos quando $p \leq 0,05$. As análises foram realizadas com o software SISVAR (Ferreira, 2011) e as figuras foram elaboradas com o software SigmaPlot v.14 (SYSTAT Software, 2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância apontou que houve efeito significativo dos fatores sobre as variáveis resposta estudadas (Tabela 3). Houve interação significativa para as variáveis massa seca de raiz ($p=0,04$) e eficiência no uso da água ($p=0,02$). Para as demais, houve efeito isolado ($p < 0,05$) dos fatores classe de solo e doses de cinza, sendo que a altura de planta, diâmetro de colmo e número de folhas não foram influenciadas pela classe de solo; não houve efeito das doses sobre o volume de raiz, e o índice de clorofila não variou significativamente independentemente do fator estudado (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância e regressão para as variáveis pH do solo (pH), altura de plantas (ALT), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), índice de clorofila (ICL), massa seca de folhas (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca da raiz (MSR), volume de raiz (Vraiz) e eficiência no uso da água (EUA) avaliadas na cultura da cebolinha submetida a doses de cinza vegetal em duas classes de solo. Rondonópolis, MT

Variáveis	Fonte de variação/GL				Ajuste (Dose) [†]		Média Geral	CV (%)
	Solo (S)	Dose (D)	S x D	Erro	L	Q		
	1	4	4	30				
	p-valor							
pH	0,02	<0,01	0,71	-	<0,01	0,76	5,48	6,43
ALT	0,68	<0,01	0,36	-	<0,01	<0,01	21,26	15,46
DC	0,26	<0,01	0,99	-	0,01	0,03	4,69	27,00
NF	0,38	<0,01	0,56	-	<0,01	0,02	5,84	41,47
AF	0,03	<0,01	0,46	-	<0,01	<0,01	129,96	29,33
ICL	0,11	0,21	0,63	-	-	-	28,26	32,36
MSF	<0,01	<0,01	0,58	-	<0,01	<0,01	0,83	29,77
MSC	0,32	<0,01	0,27	-	<0,01	<0,01	0,63	37,95
MSR	<0,01	<0,01	0,04	-	0,02	0,16	1,92	63,45
Vraiz	0,03	0,21	0,56	-	-	-	1,14	30,22
EUA	<0,01	<0,01	0,02	-	<0,01	0,02	3,10	37,24

[†]Ajuste linear (L) e quadrático (Q); CV=Coeficiente de variação.

PH DO SOLO

Os valores de pH aumentaram linearmente com o incremento das doses de cinza vegetal (Figura 4A). Assim, o máximo pH ($6,40 \pm 0,20$) foi atingido com a dose de 32 g dm^{-3} . Assim, pode-se observar o efeito da cinza vegetal como corretivo a qual elevou o valor de pH para 6,4, considerado adequado para essa cultura (Filgueira, 2008; Chen, 2012). A elevação do pH do solo com a aplicação da cinza está ligada à liberação de bases trocáveis, como Ca, Mg e K, presentes na cinza, que contribuem com o efeito corretivo. Verificou-se que doses de cinza a partir de 16 g cm^{-3} , $\text{pH} = 5,46 \pm 0,29$, proporcionaram condições mais favoráveis para o desenvolvimento da cultura.

Ao se misturar a cinza com o solo, os sítios de troca do solo são ocupados por cátions. A cinza vegetal possui cerca de 20 a 25% de CaO, em que o cálcio inicialmente está na forma de óxido, passando a forma de hidróxido e carbonato tão logo é exposto à umidade (Darolt e Osaki, 1989; Campos et al., 2013).

Quanto à classe de solo, mesmo apresentando valores relativamente próximos de pH entre si, o pH no Neossolo Quartzarênico foi maior ($5,62 \pm 0,89$) que no Latossolo Vermelho ($5,35 \pm 0,66$) (Figura 4B). Isso ocorreu devido o Neossolo possuir um poder tampão menor que o Latossolo Vermelho, isto é, ser menos resistente à mudança de pH.

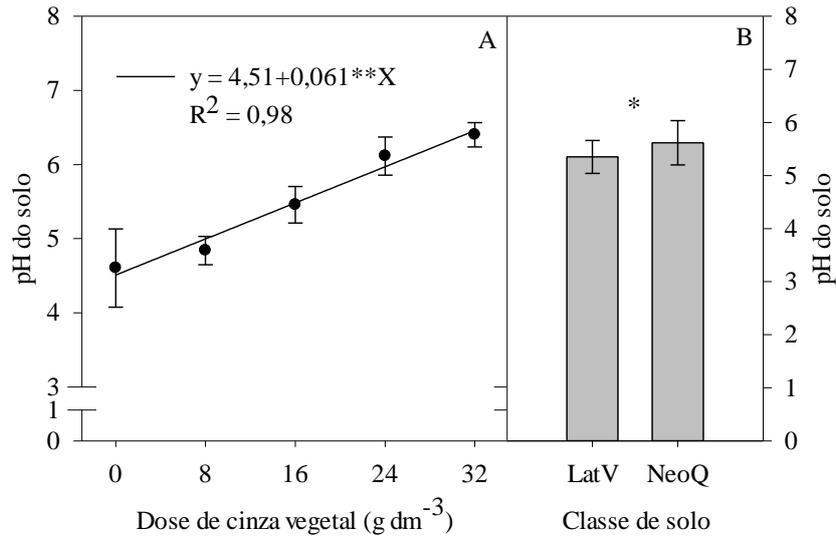


Figura 4. pH do solo cultivado com cebolinha em função de doses de cinza vegetal (A) e da classe de solo avaliada (B). ** e * = significativo a 1 e 5%, respectivamente. LatV = Latossolo Vermelho e NeoQ = Neossolo Quartzarênico. As barras verticais são o intervalo de confiança para a média (95%).

VARIÁVEIS FITOMÉTRICAS E ÍNDICE DE CLOROFILA

Houve efeito isolado das doses de cinza sobre as variáveis altura de planta, diâmetro de colmo, número de folhas e área foliar, as quais apresentaram comportamento quadrático (Figura 5). A área foliar foi ainda influenciada pelas classes de solo (Tabela 3).

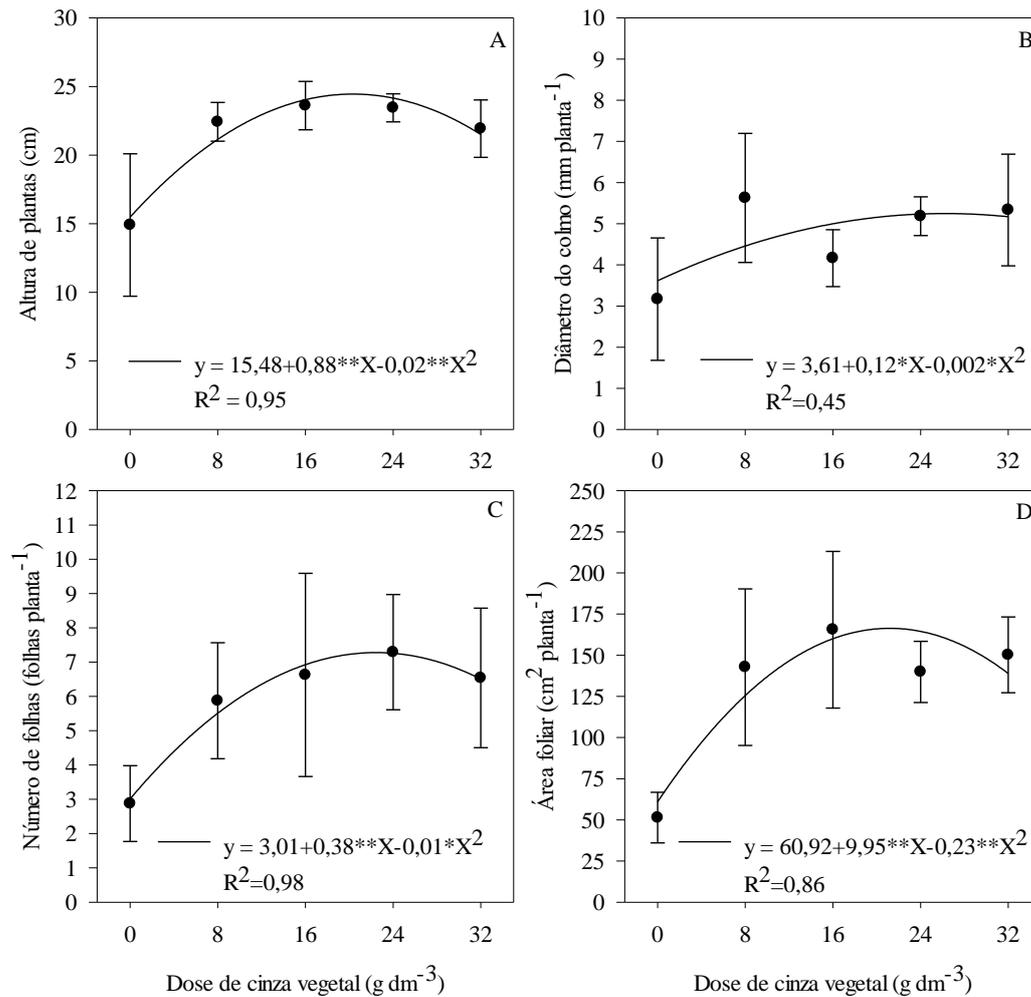


Figura 5. Altura das plantas (A), diâmetro de colmo (B), número de folhas (C) e área foliar (D) em plantas de cebolinha adubadas com cinza vegetal. ** e * = significativo a 1 e 5%, respectivamente. As barras verticais são o intervalo de confiança para a média (95%).

As respostas ao modelo quadrático das variáveis podem estar relacionadas ao desequilíbrio nutricional ocasionado por doses elevadas de cinza. Darolt et al. (1993) observaram redução dos teores de cálcio e magnésio no tecido de plantas de alface devido às quantidades crescentes de K provenientes de doses de cinza. Assim, além de determinados limites, íons de K podem reduzir a absorção de outros nutrientes, e isso reflete-se negativamente no crescimento das plantas. Doses elevadas de cinza também podem provocar efeitos tóxicos às plantas, como alertado em outros trabalhos (Darolt e Osaki, 1989; Piva et al., 2013; Bougnom et al., 2020).

No presente trabalho, de maneira geral, doses de cinza entre 16 e 24 g dm⁻³ promoveram os melhores resultados (Figura 5). Para estas doses, as plantas atingiram, respectivamente, 23,61±2,11 e 23,45±1,22 cm de altura; 4,16 ± 0,69 e 5,18 ± 0,47 mm planta⁻¹ para diâmetro de colmo; 6,63 ± 3,54 e 7,29 ± 2,01 folhas planta⁻¹; e 165,5 ± 57,0 e 139,9 ± 22,3 cm² planta⁻¹ (Figura 5).

Portanto, são fundamentais as avaliações da cinza vegetal na agricultura para determinação de doses adequadas para cada cultura. Doses excessivas podem provocar danos de, pelo menos, duas maneiras: pelo efeito negativo no crescimento das plantas e pela elevação do custo de aquisição, transporte e aplicação da cinza ao solo.

Quando à classe de solo, houve pouca influência sobre as características fitométricas. Isto indica que ambos os solos foram capazes de suprir os nutrientes em quantidades mínimas necessárias à cultura. A altura de planta (cm), diâmetro de colmo (mm planta⁻¹) e número de folhas apresentaram médias de $21,05 \pm 5,83$ e $21,48 \pm 2,78$ cm; $4,47 \pm 1,52$ e $4,92 \pm 1,41$ mm; e $5,50 \pm 2,87$ e $6,18 \pm 2,65$ folhas, respectivamente, para o Latossolo vermelho e Neossolo quartzarênico. No entanto, a área foliar (cm² planta⁻¹) foi maior no Neossolo quartzarênico ($143,6 \pm 61,7$) que no Latossolo Vermelho ($116,3 \pm 46,8$) (Tabela 3).

ÍNDICE DE CLOROFILA (ICL)

Não houve efeito significativo dos fatores estudados (doses de cinza vegetal e classes de solo) no índice de clorofila (ICL) (Tabelas 3 e 4). As clorofilas, que apresentam estreita relação com o teor de nitrogênio das folhas, atuam na captura e transferência da energia do sol para realização da fotossíntese. Diversas condições ambientais podem afetar a formação das clorofilas, como o conteúdo de umidade do solo, temperatura ambiente e nutrição mineral (Croft e Chen, 2018).

Devido ao processo de combustão, o teor de nitrogênio da cinza vegetal é muito baixo – 0,31 g kg⁻¹ (Tabela 1). Em alguns casos, esse valor pode chegar a zero (0) por conta da volatilização dos compostos nitrogenados – NH₃, NO_x, N₂ e outros – durante a combustão (Kuhlbusch et al., 1991). Consequentemente, o índice de clorofila não foi alterado significativamente, mesmo com as doses crescentes de cinza (Tabela 4), tendo em vista os pequenos acréscimos de N ao solo. Isso indica que a aplicação da cinza vegetal requer a associação a uma fonte de N. Ozolincius et al. (2005) verificaram que a aplicação de 2,5 t de cinza vegetal + 180 kg N, por hectare, aumentou significativamente as concentrações de NO₃⁻ e NH₄⁺ no solo em relação ao tratamento unicamente com cinza.

Considerando todos os dados, obteve-se um ICL médio de $28,26 \pm 9,43$. O ICL variou, em média, de 19,69 a 36,95 (Tabela 4), valores relativamente próximos aos encontrados por Silva et al. (2007), que verificaram variação no ICL de 20 a 49 para cebolinha minimamente processada em diferentes períodos de armazenamento pós-colheita.

Tabela 4. Índice de clorofila da cultura da cebolinha adubada com cinza vegetal em duas classes de solo

Dosem de cinza g dm ⁻³	Classe de solo	
	Latossolo Vermelho	Neossolo Quartzarênico
0	‡19,69 ± 13,20	29,29 ± 5,13
8	25,52 ± 3,21	22,56 ± 4,87
16	24,80 ± 6,74	33,21 ± 12,89
24	29,19 ± 5,91	31,09 ± 10,81
32	30,35 ± 2,39	36,95 ± 15,27
Média	25,91 ± 7,59	30,62 ± 10,65

‡Média ± desvio padrão.

VARIÁVEIS DE PRODUTIVIDADE:

MASSA SECA DA PARTE AÉREA (FOLHAS E COLMOS)

A massa seca das folhas e de colmo se ajustaram ao modelo quadrático em função das doses de cinza (Figuras 6A e 7A). A adição de bases trocáveis ao solo pela cinza vegetal, notadamente cálcio, potássio e magnésio (Misra et al., 1993), contribuiu com a nutrição e produção de biomassa das plantas. No entanto, a redução na produção, de modo geral a partir de doses acima de 16 g dm⁻³, sugere ocorrência de fitotoxicidade da cinza pela elevação nos teores de sais no solo. Staples e Van Rees (2001) verificaram elevação da condutividade elétrica do solo, de 0,02 para 0,10 dS m⁻¹, quando a dose de cinza passou de 1 para 5 t ha⁻¹.

Para o efeito das doses de cinza, a biomassa de folhas atingiu o valor máximo (1,08 g MS planta⁻¹) na dose de 21,63 g dm⁻³, o que representou um incremento de 64,66% em relação à produção sob ausência de cinza (Figura 6A).

Quanto às classes de solo, o Neossolo proporcionou maior produção de folhas (0,95 ± 0,39 g MS planta⁻¹) que no Latossolo (0,71 ± 0,30 g MS planta⁻¹) (Figura 6B). Esse resultado está ligado às características intrínsecas de cada solo. A textura arenosa, elevada aeração e menor resistência à mudança de pH do Neossolo Quartzarênico podem ter contribuído para o resultado observado, mesmo tratando-se de um solo com baixa capacidade de retenção de umidade. Nesse último caso, a irrigação constante por meio dos vasos com reservatório de água (vasos tipo Leonard) manteve o solo com umidade necessária de acordo com a demanda da cultura. Em adição, a macroporosidade do Neossolo Quartzarênico é maior que no Latossolo Vermelho (Souza et al., 2005), e solos bem drenados são preferíveis para cultivo da cebolinha (Chen, 2012). Isso indica que as plantas podem utilizar menos energia para extrair a água disponível no Neossolo.

Em contrapartida, o Latossolo Vermelho, conforme Demattê e Garcia (1999), possui textura argilosa, e também por isso, maior capacidade de retenção de água, e presença marcante de óxidos de ferro, os quais intensificam a baixa disponibilidade de fósforo devido à adsorção. As folhas da

cebolinha são responsáveis pela maior exportação de nutrientes, e o fósforo é um dos nutrientes mais absorvidos (Belfort e Haag, 1983).

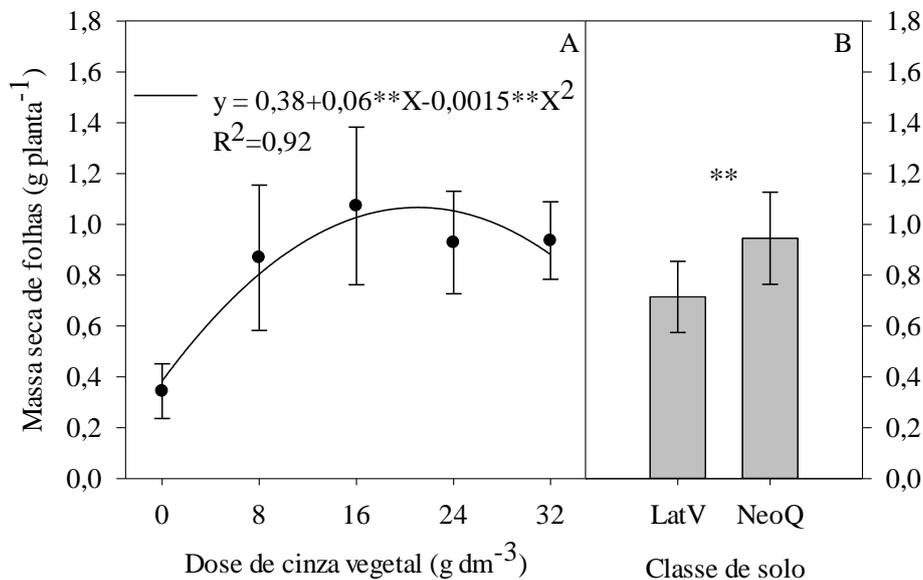


Figura 6. Massa seca de folhas da cebolinha em função das doses de cinza vegetal (A) e da classe de solo (B). **: $p < 0,01$. LatV=Latossoil Vermelho e NeoQ=Neossoil Quartzarênico. As barras verticais são o intervalo de confiança para a média (95%).

Para a massa seca de colmo (g planta⁻¹), verificou-se maior produção (0,82 g) na dose de 22,27 g dm⁻³. Esse resultado representou um aumento de 65,97% na produção de colmo em relação à ausência de cinza vegetal (Figura 7A). A massa de colmo, ao contrário da massa de folhas, não diferiu entre as classes de solo: $0,67 \pm 0,39$ g (Neossoil) e $0,60 \pm 0,25$ g (Latossoil) (Figura 7B). Esse resultado está relacionado às diferenças de requerimento de nutrientes entre o colmo e as folhas da planta. Diferentemente das folhas, os colmos da cebolinha absorvem mais potássio que outros nutrientes (Belfort e Haag, 1983).

O potássio é um dos nutrientes mais abundantes na cinza vegetal (Tabela 1; ver também Bonfim-Silva et al., 2013), e nos solos brasileiros os fenômenos de adsorção de K são pouco expressivos, de modo que suas perdas no solo acontecem principalmente por lixiviação, pois esse nutriente apresenta boa mobilidade no solo, desde que não haja déficit hídrico (Poss et al., 1991; Ernani et al., 2007). Nesse contexto, o menor teor de K no Neossoil ($12,0$ mg dm⁻³) em relação ao Latossoil ($33,0$ mg dm⁻³) (Tabela 2) não influenciou significativamente o desenvolvimento dos colmos da planta, dada a disponibilidade do nutriente.

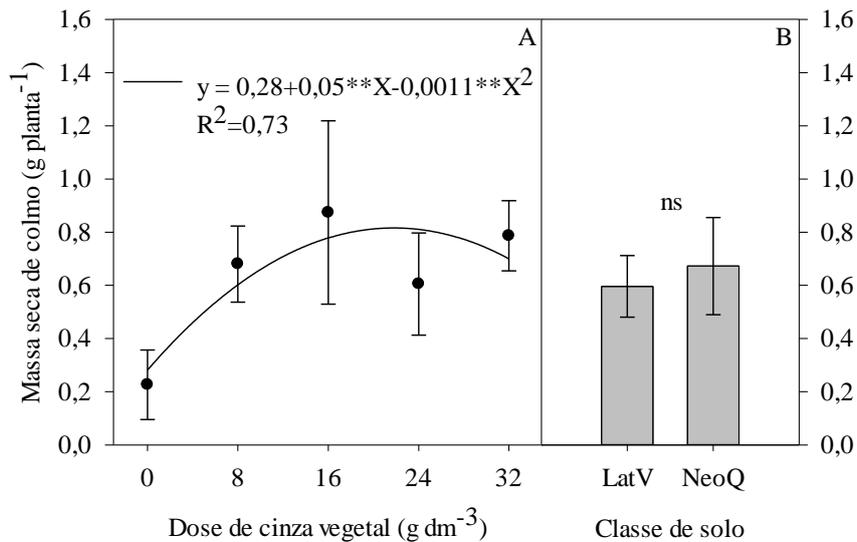


Figura 7. Massa seca de colmo da cebolinha em função das doses de cinza vegetal (A) e da classe de solo (B). **: $p < 0,01$; ns: não significativo. LatV=Latosolo Vermelho e NeoQ=Neossolo Quartzarênico. As barras verticais são o intervalo de confiança para a média (95%).

MASSA SECA DA RAIZ

Houve interação significativa das doses de cinza vegetal com as classes de solo avaliadas (Figura 8). A produção de raiz aumentou em relação às doses, porém com taxas distintas entre os solos. O desdobramento das doses de cinza vegetal dentro de cada classe de solo demonstrou que, no Latossolo Vermelho, houve crescimento linear da biomassa radicular a até $1,47 \pm 1,04$ g planta⁻¹ na dose de 32 g dm⁻³, representando um incremento de 66,67% em relação à ausência de cinza ($0,49 \pm 0,45$ g planta⁻¹). Assim, a aplicação de doses cinza vegetal melhorou as condições químicas do solo, com elevação do pH (Figura 4A) e adição de nutrientes (Tabela 1), possibilitando maior desenvolvimento das raízes e, possivelmente, a exploração de maior volume de solo.

Por outro lado, para o Neossolo, as condições de crescimento das plantas foram melhoradas até um ponto máximo, quando a massa de raízes passou a decrescer. Nesse caso a produção de raiz seguiu um modelo quadrático, em que a produção máxima (3,84 g) ocorreu na dose de $21,50$ g dm⁻³, um incremento de 69,78% quando comparado ao tratamento sem cinza (Figura 8).

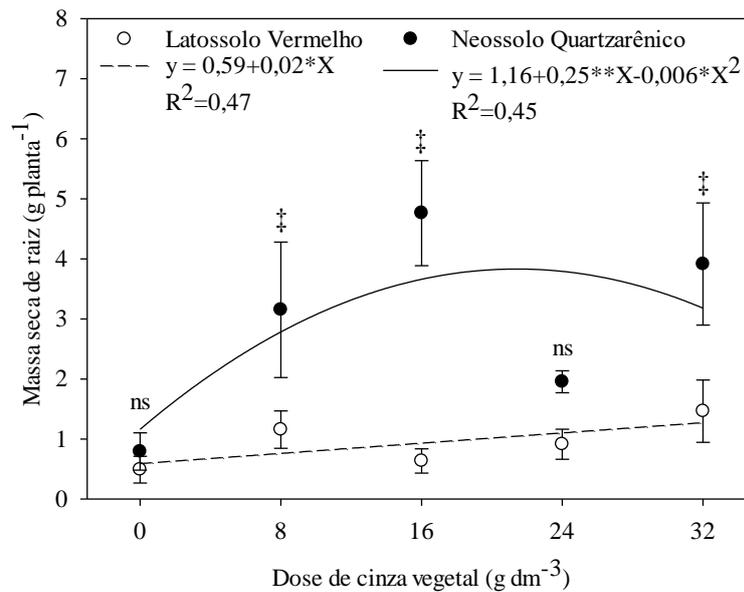


Figura 8. Interação classe de solo \times dose de cinza vegetal para a massa seca da raiz da cebolinha cultivada em vasos de Leonard adaptados. ** e * = significativo a 1 e 5%, respectivamente. ‡ e ns = efeito significativo e não significativo ($p \leq 0,05$), respectivamente, para a comparação das classes de solo em cada dose de cinza vegetal. As barras verticais são o intervalo de confiança para a média (95%).

Analisando o desdobramento das classes de solo nas doses de cinza, foi possível verificar que, na ausência de adubação com cinza vegetal (dose 0), a massa de raiz não diferiu entre os solos, o que indicou similaridade das condições de crescimento determinadas pelo solo, como os valores iniciais de pH (Tabela 2). Assim, com a presença de adubação com doses de cinza vegetal, em geral, para a mesma dose, a biomassa radicular foi maior no Neossolo (Figura 8). Isso indica que a resistência de mudança de pH do Latossolo implica na necessidade de doses maiores de cinza para neutralizar a acidez do solo e atingir o mesmo nível de capacidade produtiva que o Neossolo teria com uma dose menor.

Para o crescimento radicular da cebolinha, o fósforo é o nutriente mais absorvido, seguido pelo potássio e nitrogênio (Belfort e Haag, 1983). Desse modo, as diferenças observadas no comportamento da produção de raízes em função das classes de solo podem ser, em parte, devidas a redução na disponibilidade de fósforo no Latossolo Vermelho, o que levou à menor produção de raízes neste solo. Como reportado por Shen et al. (2005), em Latossolos o P inorgânico pode ser absorvido por argilas e hidróxidos de Al e Fe, que dependem dos processos de sorção e dessorção para liberar o ortofosfato na solução do solo. Associado a isso, outra possível causa para os resultados encontrados está ligada à física do solo (Betz et al., 1998; Oliveira et al., 2007). Como comentado anteriormente para as massas secas de folhas e colmos (Figuras 6 e 7), a produção de raízes é

favorecida em solos arenosos, dadas as menores restrições mecânicas à elongação do sistema radicular (Materchera et al., 1991; Whalley et al., 2008).

VOLUME DE RAIZ

Os fatores anteriormente descritos para a massa seca de raiz tiveram, conseqüentemente, um papel determinante do volume de raiz, que foi significativamente maior no Neossolo. Em contrapartida, não houve efeito das doses de cinza sobre o volume radicular (Tabela 5).

A resposta não significativa do volume de raiz em função das doses de cinza, ao contrário da massa seca de raiz (Figura 8), pode estar relacionada a densidade das raízes (g cm^{-3}) (Sainju et al., 2017). Para uma mesma quantidade de raiz (g), pode-se ter volumes variados, dependendo da densidade das raízes.

A hipótese é a de que raízes mais finas poderiam atingir massa igual, ou até mesmo superior, que raízes com maior diâmetro, aumentando a massa sem variar significativamente o volume, devido a algum fator do ambiente de cultivo, dando a consistência de uma raiz menos porosa e mais fibrosa. Fatores abióticos podem ocasionar esses efeitos, como o excesso ou déficit de água de irrigação e a nutrição mineral (Gregory, 1994). Nesse sentido, Hernandez-Espinoza e Barrios-Masias (2020) verificaram que o diâmetro dos vasos do xilema e a área do xilema da raiz do tomateiro reduziram 27 e 57% sob déficit hídrico, respectivamente, em relação ao tratamento irrigado. Em outro trabalho, Bacanamwo e Purcell (1999) avaliaram a cultura da soja submetida a tratamentos com e sem saturação hídrica do substrato. Os autores observaram que houve formação de aerênquima no córtex radicular em resposta à saturação. A porosidade das raízes dos tratamentos não saturados variou de 0 a 4,9% e 9,4 a 15,5% do volume de tecidos nas plantas inundadas.

Ao tornar o solo mais adequado ao desenvolvimento radicular, pela elevação do pH, de 4,60 (sem cinza) para 6,40 (32 g dm^{-3}) (Figura 4), e adição de nutrientes (Tabela 1), a cinza vegetal pode ter favorecido o desenvolvimento de raízes mais densas (Figura 8), em detrimento do volume (Tabela 5). O efeito da adubação no crescimento de raiz também foi reportado em estudos anteriores. O fornecimento de nutrientes altera a morfologia e aumenta a densidade das raízes nos locais de maior concentração de fertilizantes (Epstein e Bloom, 2005; Fageria e Moreira, 2011).

Tabela 5. Volume de raiz ($\text{cm}^3 \text{ planta}^{-1}$) de plantas de cebolinha em função da dose de cinza e da classe de solo avaliado

Dosem de cinza g dm^{-3}	Classe de solo	
	Latossolo Vermelho	Neossolo Quartzarênico
0	$0,83 \pm 0,58$	$1,09 \pm 0,42$
8	$1,08 \pm 0,17$	$1,08 \pm 0,17$
16	$1,00 \pm 0,27$	$1,25 \pm 0,32$
24	$1,08 \pm 0,17$	$1,25 \pm 0,32$
32	$1,08 \pm 0,17$	$1,67 \pm 0,54$
Média	$1,02 \pm 0,29$ B	$1,27 \pm 0,40$ A

\ddagger Média \pm desvio padrão. Médias seguidas por letras distintas, na linha, diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$).

EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA

Houve interação entre os fatores (doses de cinza e classes de solo) (Figura 9). O desdobramento das doses de cinza dentro de cada classe de solo mostrou que a cebolinha apresentou maior eficiência no uso da água no Neossolo Quartzarênico. Nesse solo, a eficiência máxima de uso da água ($5,20 \text{ g MS L}^{-1}$) ocorreu na dose de cinza vegetal de $23,13 \text{ g dm}^{-3}$. Para o Latossolo Vermelho, a dose de cinza que proporcionou a máxima resposta foi $28,68 \text{ g dm}^{-3}$, com uma eficiência no uso da água de $2,63 \text{ g MS L}^{-1}$.

Em ambos os solos foram obtidos incrementos na eficiência no uso da água, que corresponderam a 67,82% e 49,94%, para o Neossolo Quartzarenico e Latossolo Vermelho, respectivamente, quando comparados a ausência de adubação com cinza vegetal.

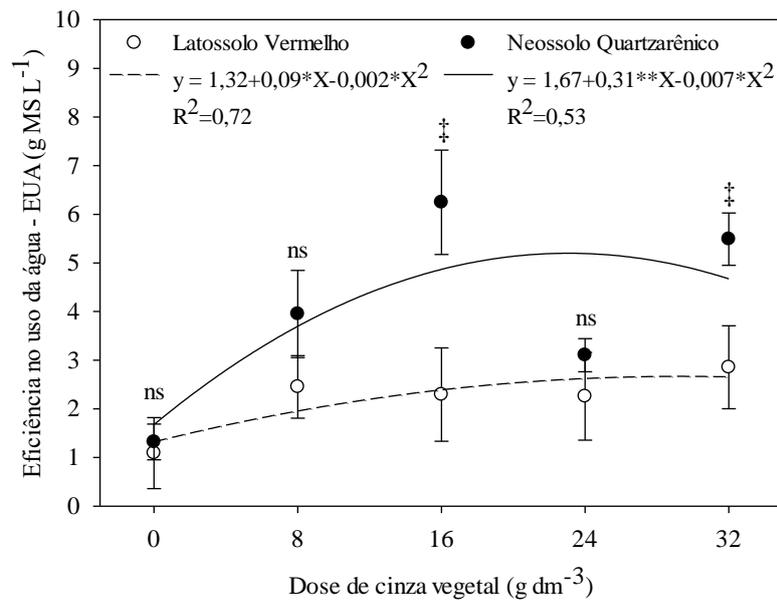


Figura 9. Interação classe de solo \times dose de cinza vegetal para a eficiência no uso da água (EUA) da cebolinha cultivada em vasos de Leonard adaptados. ** e * = significativo a 1 e 5%, respectivamente. ‡ e ns = efeito significativo e não significativo ($p \leq 0,05$), respectivamente, para a comparação das classes de solo em cada dose de cinza vegetal. As barras verticais são o intervalo de confiança para a média (95%).

4 CONCLUSÕES

O potencial de correção do solo pela cinza vegetal é reiterado, sendo esse resíduo sólido capaz de elevar o pH até valores adequados para o cultivo da cebolinha no Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarenico em condições controladas;

Considerando as variáveis resposta avaliadas, em geral a cultura apresenta maior desempenho nas doses de cinza vegetal entre 16 e 24 g dm⁻³;

O maior desenvolvimento das plantas de cebolinha no Neossolo quartzarênico indica maior adaptação da cultura a solos de textura arenosa, e outras classes de solo devem ser estudadas em experimentos sob condições protegidas e naturais de campo.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa ao primeiro e quarto autores; à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de pós-doutorado ao terceiro autor.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. L.; FAQUIN, V.; BALIZA, D. P.; ÁVILA, F. W.; GUERRERO, A. C. Crescimento e nutrição mineral de cebolinha verde cultivada hidroponicamente sob diferentes concentrações de N, P e K. **Revista Ceres**, v.63, n.2, p.232-240, 2016. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663020015>
- ARSHAD, M. A.; SOON, Y. K.; AZOOZ, R. H.; LUPWAYI, N. Z.; CHANG, S. X. Soil and crop response to wood ash and lime application in acidic soils. **Agronomy Journal**, v.104, n.3, 2012. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0355>
- BACANAMWO, M.; PURCELL, L. C. Soybean root morphological and anatomical traits associated with acclimation to flooding. **Crop Science**, v.39, n.1, p.143-149, 1999. <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X003900010023x>
- BELFORT, C. C.; HAAG, H. P. Nutrição mineral de hortaliças - LVI - carência de macronutrientes em cebolinha (*Allium schoenoprasum*). **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v.40, n.1, p.221-234, 1983. <http://dx.doi.org/10.1590/S0071-12761983000100012>
- BETZ, C. L.; ALLMARAS, R. R.; COPELAND, S. M.; RANDALL, G. W. Least Limiting Water Range: traffic and long-term tillage influences in a Webster Soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.62, n.5, p.1384-1393, 1998. <https://doi.org/10.2136/sssaj1998.03615995006200050034x>
- BEZERRA, M. D. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; FERRAZ, A. P. F.; DAMASCENO, A. P. A. B. Phytometric characteristics and chlorophyll index of “Paiaguás” grass (*Urochloa brizantha*) as a function of wood ash doses and soil water stress. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, p. 1883-1891, 2019. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.19.13.11.p2100>
- BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; SILVA, T. J. A.; MOREIRA, J. C. F.; CARVALHO, J. C. S. Cinza vegetal: características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. **Bioscience Journal**, v.29, n.5, p.1215-1225, 2013. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15073>
- BONFIM-SILVA, E. M.; OLIVEIRA, E. S.; BEZERRA, M. D. L.; CASTAÑÓN, T. H. F. M.; FENNER, W. SILVA, T. J. A. Application of wood ash, organomineral and mineral fertilizers to

increase the growth of arugula (*Eruca sativa* Miller) at Different Base Saturation on Oxisol. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.17, n.3, p.1-6, 2017. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2017/35486>

BONFIM-SILVA, E. M.; TAKENAKA, P. Y.; NONATO, J. J.; GUIMARÃES, S. L.; SILVA, T. J. A. Productive characteristics of peanut cultivars fertilized with wood ash. **Australian Journal of Crop Science**, v.14, n.4, p.691-696, 2020. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.20.14.04.p2482>

BOUGNOM, B. P.; NEMETE, A. M.; MBASSA, G. F.; ONOMO, P. E.; ETOA, F. X. Effect of cattle manure wood-ash compost on chemical, physical and microbial properties of two acid tropical soils. **Agricultural Journal**, v.15, n.1, p.13-19, 2020. <http://dx.doi.org/10.36478/aj.2020.13.19>

CAMPOS, D. V. B.; FREIRE, L. R.; ZONTA, E.; EIRA, P. A.; DUQUE, F. F.; DE-POLLI, H.; SOUTO, S. M.; SANTOS, G. A.; ANJOS, L. H. C. Adubos e corretivos. In: FREIRE, L. R. (Coord.). **Manual de calagem e adubação do estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, 2013. p.107-130.

CHEN, H. Chives. In: PETER, K. V. (Ed.). **Handbook of Herbs and Spices**, 2nd, v.1. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2012. p.171-181. <https://doi.org/10.1533/9780857095671.171>

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; BASTOS, A. L.; ALBUQUERQUE, A. W. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.56-62, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000100008>

CROFT, H.; CHEN, J. M. Leaf pigment content. **Comprehensive Remote Sensing**, v.3, p.117-142, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10547-0>

DAROLT, M. R.; BLANCO NETO, V.; ZAMBON, F. R. A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, v.11, n.1, p.38-40, 1993. http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/darolt_cinzavegetal.pdf

DAROLT, M. R.; OSAKI, F. Efeito da cinza de caieira de cal sobre a produção da aveia preta, no comportamento de alguns nutrientes. In: **Calagem & Adubação**. Campinas, SP: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1989. 33p.

DEMATTÊ, J. A.; GARCIA, G. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, n.2, p.327-342, 1999. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.03615995006300020010x>

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA, 2005. 400p.

ERICH, M. S., OHNO, T. Phosphorus availability to corn from wood ash-amended soils. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.64, p.475-485, 1992. <https://doi.org/10.1007/BF00483357>

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L., eds. **Fertilidade do Solo**. 1.ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. **Advances in Agronomy**, v.110, p.251-331, 2011. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385531-2.00004-9>

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises estatísticas e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v.6, p.36-41, 2011.

FERREIRO, A.; MERINO, A.; DÍAZ, N.; PIÑEIRO, J. Improving the effectiveness of wood-ash fertilization in mixed mountain pastures. **Grass and Forage Science**, v.66, n.3, p.337-350, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00800.x>

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2008. 421p.

GONÇALVES, J. L. M.; MORO, L. Uso da "cinza" de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n.48/49, p.28-37, 1995. <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr48-49/cap04.pdf>

GREGORY, P. J. Root growth and activity. In: BOOTE, K. J.; BENNETT, J. M.; SINCLAIR, T. R.; PAULSEN, G. M. (Eds.). **Physiology and determination of crop yield**. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, 1994. p.65-93. <https://doi.org/10.2134/1994.physiologyanddetermination.c5>

HERNANDEZ-ESPINOZA, L. H.; BARRIOS-MASIAS, F. H. Physiological and anatomical changes in tomato roots in response to low water stress. **Scientia Horticulturae**, v.265, 109208, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109208>

HIRATA, A. C. S.; HIRATA, E. K.; MONQUERO, P. A. Manejos do solo associados a telas de sombreamento no cultivo da cebolinha no verão. **Horticultura Brasileira**, v.35, n.2, p.298-304, 2017. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620170223>

ISHAQ, M.; IBRAHIM, M.; HASSAN, A.; SAEED, M.; LAL, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. **Soil and Tillage Research**, v.60, n.3-4, p.153-161, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00177-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00177-5)

KUHLBUSCH, T. A.; LOBERT, J. M.; CRUTZEN, P. J.; WARNECK, P. Molecular nitrogen emissions from denitrification during biomass burning. **Nature**, v.351, p.135-137, 1991. <https://doi.org/10.1038/351135a0>

MATERECHERA, S. A.; DEXTER, A. R.; ALSTON, A. M. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. **Plant and Soil**, v.135, p.31-41, 1991. <https://doi.org/10.1007/BF00014776>

MINAMI, K. **Produção de mudas de hortaliças de alta qualidade em horticultura**. São Paulo: T.A. Queiroz, 1995. 128p.

MISRA, M. K.; RAGLAND, K. W.; BAKER, A. J. Wood ash composition as a function of furnace temperature. **Biomass and Bioenergy**, v.4, n.2, p.103-116, 1993. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(93\)90032-Y](https://doi.org/10.1016/0961-9534(93)90032-Y)

NAYLOR, L. M.; SCHMIDT, E. J. Agricultural use of wood ash as a fertilizer and liming material. **TAPPI Journal**, v.69, n.10, p.114-119, 1986.

https://www.researchgate.net/publication/236359378_Agricultural_use_of_wood_ash_as_a_fertilizer_and_liming_material

OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.265-270, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000300004>

OZOLINCIUS, R.; VARNAGIRYTE, I.; ARMOLAITIS, K.; KARLTUN, E. Initial effects of wood ash fertilization on soil, needle and litterfall chemistry in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand. **Baltic Forestry**, v.11, n.2, p.59-67, 2005. <https://bit.ly/3enEqA4>

PIVA, R.; BOTELHO, R. V.; ORTOLAN, C.; MÜLLER, M. M. L.; KAWAKAMI, J. Adubação em vinhedo orgânico da cv. Isabel utilizando cinzas vegetais e esterco bovino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, n.2, p.608-615, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200033>

POSS, R.; FARDEAU, J. C.; SARAGONIT, H.; QUANTIN, P. Potassium release and fixation in Ferralsols (Oxisols) from Southern Togo. **European Journal of Soil Science**, v.42, n.4, p.649-660, 1991. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1991.tb00111.x>

ROSEGRANT, M. W.; RINGLER, C.; ZHU, T. Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. **Annual Review of Environment and Resources**, v.34, p.205-222, 2009. <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.030308.090351>

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.56, n.2, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>

SAINJU, U. M.; ALLEN, B. L.; LENSSEN, A. W.; GHIMIRE, R. P. Root biomass, root/shoot ratio, and soil water content under perennial grasses with different nitrogen rates. **Field Crops Research**, v.210, p.183-191, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.029>

SCHERER, H. W. Fertilizers and Fertilization. In: HILLEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of Soils in the Environment**, Academic Press, 2005. p.20-26. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00229-0>

SELWYN, B. Institutions, upgrading and development: evidence from North East Brazilian export horticulture. **Competition & Change**, v.12, n.4, p.377-396, 2008. <https://doi.org/10.1179/102452908X357310>

SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, Z.; CHEN, X.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Phosphorus dynamics: from soil to plant. **Plant Physiology**, v.156, p.997-1005, 2011. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175232>

SILVA, D. D.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos**. 3. Ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.

SILVA, J. M.; ONGARELLI, M. G.; AGUILA, J. S.; SASAKI, F. F.; KLUGE, R. A. Métodos de determinação de clorofila em alface e cebolinha minimamente processadas. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v.8 n.2, p.53-59, 2007. <http://www.redalyc.org/pdf/813/81311221001.pdf>

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.11, p.1135-1139, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005001100012>

STAPLES, T. E.; VAN REES, K. C. J. Wood/sludge ash effects on white spruce seedling growth. **Canadian Journal of Soil Science**, v.81, n.1, p.85-92, 2001. <https://doi.org/10.4141/S00-014>

SYSTAT Software, Inc. SigmaPlot®, v.14, 2017. <https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/>

TATLIOGLU, T. Chive: *Allium schoenoprasum* L. In: KALLOO, G.; BERGH, B. O. (Eds.). **Genetic improvement of vegetable crops**, Pergamon, 1993. p.3-13. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-040826-2.50005-9>

TAVELLA, L. B; GALVÃO, R. O; FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO, S. E.; NEGREIROS, J. R. S. Cultivo orgânico de coentro em plantio direto utilizando cobertura viva e morta adubado com composto. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.4, p.614-618, 2010.

VAN LIER, Q. J. The critical soil water content and its relation to soil water dynamics. **Scientia Agricola**, v.54, Núm. Esp., 1997. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000300009>

WHALLEY, W. R., WATTS, C. W., GREGORY, A. S., MOONEY, S. J., CLARK, L. J., WHITMORE, A. P. The effect of soil strength on yield of wheat. **Plant and Soil**, v.306, p.237-247, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9577-5>

WIENHOLD, B. J.; VARVEL, G. E.; DORAN, J. W. Quality of soil. In: HILLEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of Soils in the Environment**, Academic Press, 2005. p.349-353. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00487-2>