

Biochar no manejo de nitrogênio e fósforo para a produção de mudas de angico

Stefany Lorryny Lima⁽¹⁾, Ben Hur Marimon Junior⁽¹⁾, Kelyane da Silva Melo-Santos⁽¹⁾, Simone Matias Reis⁽²⁾, Fabiano André Petter⁽²⁾, Cesar Crispim Vilar⁽¹⁾ e Beatriz Schwantes Marimon⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade do Estado de Mato Grosso, Rua Prof. Dr. Renato Figueiro Varella, Caixa Postal 08, CEP 78690-000 Nova Xavantina, MT, Brasil. E-mail: stefany_sll@hotmail.com, bhmjunior@gmail.com, kelyane.sm@hotmail.com, cesarcvilar@gmail.com, biamarimon@hotmail.com

⁽²⁾Universidade Federal de Mato Grosso, Avenida Alexandre Ferronato, nº 1200, Setor Industrial, CEP 78550-000 Sinop, MT, Brasil. E-mail: simonematiasreis@gmail.com, petter@ufpi.edu.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de biochar aplicado com os macronutrientes N e P, para a formação de substratos, no desenvolvimento de mudas de angico (*Anadenanthera colubrina*) para a restauração florestal. Os experimentos foram realizados em viveiro florestal, em delineamento inteiramente casualizado. Estudaram-se interações entre concentrações crescentes de biochar e de N, na forma de ureia, e de biochar e P, na forma de superfosfato simples, adicionados a Latossolo Amarelo. Determinaram-se os parâmetros de crescimento, qualidade e nutrição das mudas, e os resultados foram submetidos ao estudo de regressão polinomial (superfície de resposta). A interação entre biochar e N beneficiou a qualidade e a concentração foliar de Mg das mudas de angico, apesar de não influenciar o crescimento das plantas. As mudas de angico submetidas à aplicação de biochar e P mostraram maior qualidade e eficiência de uso dos nutrientes Ca e K. A adição de biochar ao substrato, junto com N e P, apresenta potencial de uso para a produção de mudas de qualidade, o que favorece o sucesso de práticas de restauração florestal em regiões com baixa fertilidade do solo e sujeitas a períodos de estresse hídrico.

Termos para indexação: *Anadenanthera colubrina*, reflorestamento, substrato, superfosfato, ureia.

Biochar in the management of nitrogen and phosphorus to produce angico seedlings

Abstract – The objective of this work was to evaluate the effect of biochar applied together with the macronutrients N and P, for the formation of substrate, on the growing of angico (*Anadenanthera colubrina*) seedlings for forest restoration. The experiments were conducted in a forest nursery, in a completely randomized block design. Interactions were studied between increasing concentrations of biochar and of N as urea, and between concentrations of biochar and P as superphosphate, added to a Yellow Oxisol. Seedling patterns of growth, quality, and nutrition were determined, and the results were subjected to the study of polynomial regression (response surface). The interaction between biochar and N favored leaf nutrition and leaf-concentration of Mg of angico seedlings; however, it did not influence plant growth. Angico seedlings subjected to the application of biochar and P showed higher nutrition and nutrient use efficiency of Ca and K. Biochar application with N and P to the substrate shows potential for the production of quality seedlings, which favors the success of practices for forest restoration in regions with low soil fertility and subjected to water stress periods.

Index terms: *Anadenanthera colubrina*, reforestation, substrate, superphosphate, urea.

Introdução

A expansão urbana e a atividade agropecuária têm conduzido habitats em todo o mundo à fragmentação (Hansen et al., 2013), o que torna necessário o desenvolvimento de pesquisas que auxiliem o processo de recuperação de áreas degradadas e reflorestamento. No entanto, há muitos desafios para essas práticas, como informações para a escolha de espécies ideais, para recomposição da vegetação nativa, e o manejo mais

adequado de solos e substratos (Dobson et al., 1997). Tais desafios são ainda dificultados pela deficiência de conhecimento adequado sobre a produção de mudas, especialmente em regiões com alta sazonalidade climática (Reis et al., 2015).

Um dos fatores determinantes para a produção de mudas de qualidade é o uso de substratos adequados quanto à demanda de nutrientes, para suprir as exigências nutricionais das espécies (Chaves et al., 2006). Assim, garantir a demanda de nutrientes,

principalmente N e P, é essencial, pois sua deficiência é limitante do crescimento vegetal (Fageria, 2008). Considerando-se, ainda, as condições edafoclimáticas das áreas usadas para processos de implantação florestal, o uso de espécies nativas pode garantir maior sucesso em práticas de recuperação de áreas degradadas e conservação da biodiversidade (Lamb et al., 2005).

As espécies nativas geralmente apresentam maior eficiência de uso de nutrientes (EUN), o que determina a capacidade de produção de matéria seca por unidade de nutrientes absorvidos pela planta (Chapin, 1980), garante o melhor desempenho das mudas e sobrevivência em campo, em razão da alta adaptabilidade às condições ambientais e atende às exigências de reposição da biodiversidade de diferentes regiões. Uma destas espécies com alto potencial de crescimento é o angico (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan), que apresenta amplo domínio fitogeográfico que inclui o bioma Cerrado (Lorenzi, 2008).

Em geral, as condições de restauração florestal em regiões tropicais requerem espécies vegetais capazes de se desenvolver sobre solos com baixa fertilidade e sujeitos a longos períodos de estresse hídrico, como no bioma Cerrado (Klink & Machado, 2005). Estas limitações edafoclimáticas exigem técnicas específicas de produção de mudas, para garantir ao mesmo tempo maiores taxas de sobrevivência das plantas em campo, diminuição das perdas de nutrientes do solo, aumento da eficiência do uso de nutrientes (EUN) das plantas e proteção ao meio ambiente (solos e água) (Baligar et al., 2001).

Solos amazônicos antropogênicos, conhecidos como Terra Preta de Índio, que apresentam alta fertilidade e produtividade durante várias décadas, sem necessidade de adubação, têm sido investigados a fim de auxiliar a sustentabilidade agrícola (Lehmann & Joseph, 2009). A alta fertilidade desses solos foi alcançada em razão da adição de carbono pirogênico pelos índios, por meio da incorporação de restos de carvão vegetal ao solo. Este material, denominado biochar, tem sido proposto como excelente alternativa para melhorar a fertilidade dos solos cultiváveis de baixa fertilidade natural (Novotny et al., 2007; Maia et al., 2011). Este produto é originado do processo de pirólise de biomassa e pode ser uma excelente estratégia econômica e ambiental de aproveitamento de resíduos (Lehmann & Joseph, 2009).

Alguns estudos têm mostrado a eficácia do uso do biochar na agricultura, principalmente por sua característica de diminuir a lixiviação dos nutrientes e de água no solo (Lehmann, 2007; Lehmann & Joseph, 2009), o que garante maior eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas e auxilia a redução dos gastos com adubações químicas. Além disso, o produto atua como estoque de C no solo e contribui para diminuir a concentração de CO₂ na atmosfera, favorecendo a mitigação das mudanças climáticas globais (Lehmann & Joseph, 2009).

Discute-se, ainda, que a melhoria da fertilidade do solo e do desenvolvimento vegetal, proporcionados pelo biochar, são maiores quando o produto é combinado com solo fértil ou com adição de fertilizantes (Steiner et al., 2007; Petter et al., 2012; Lima et al., 2015). O potencial do biochar como fonte de alguns nutrientes varia conforme as características químicas do material (Mukome et al., 2013). Assim, o uso isolado do biochar com características de baixa disponibilidade de nutrientes pode ser ineficiente para o desenvolvimento vegetal conforme as condições de solo onde é aplicado (Lima et al., 2013, 2015).

O uso sustentável do biochar deve considerar a caracterização do material e do local de aplicação, como as propriedades físico-químicas do solo e clima, além da gestão da terra, como o tipo de espécie cultivada, de forma que se tenham respostas sobre compatibilidade e complementaridade entre esses fatores (Verheijen et al., 2012). Assim, estudos com espécies nativas e com solos oriundos de áreas naturais, com características de baixa fertilidade, são essenciais para promover informações que viabilizem o uso do biochar para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e silviculturais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de biochar aplicado com os macronutrientes N e P, para a formação de substratos, no desenvolvimento de mudas de angico (*Anadenanthera colubrina*) para a restauração florestal.

Material e Métodos

Os experimentos foram desenvolvidos em viveiro florestal, na Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), em Nova Xavantina, MT (14°41'25" S; 52°20'55"W), de maio a dezembro de 2013. Foram produzidas mudas de angico, em sacos de polietileno

preto de 500 cm³. Os recipientes foram colocados em bancadas sobre suporte de ferro, a 1,20 m de altura, com sombreamento de 50% e irrigação diária, por microaspersão, com taxa diária de aplicação de 20 min, ajustada conforme as condições microclimáticas.

Utilizou-se, nos dois experimentos, o delineamento experimental inteiramente casualizado, com 51 plantas por tratamento. Para o experimento com N, avaliaram-se as combinações entre cinco concentrações de biochar (BC) a 0, 5, 10, 20 e 35% v/v, e quatro concentrações de N a 0, 50, 100 e 200 mg dm⁻³, na forma de ureia (45% de N), adicionadas a Latossolo Amarelo. Os materiais foram homogeneizados, no total de 20 tratamentos, pelas seguintes combinações de BC (%) e N (mg dm⁻³): 0-0, 0-50, 0-100, 0-200, 5-0, 5-50, 5-100, 5-200, 10-0, 10-50, 10-100, 10-200, 20-0, 20-50, 20-100, 20-200, 35-0, 35-50, 35-100 e 35-200.

Para o experimento com P, avaliaram-se as combinações entre cinco concentrações de biochar (BC) a 0, 5, 10, 20 e 35% v/v e cinco concentrações de P a 0, 50, 100, 200 e 400 mg dm⁻³, na forma do fertilizante comercial superfosfato simples (18% P₂O₅), adicionadas a Latossolo Amarelo. Os materiais foram homogeneizados, no total de 25 tratamentos, com as seguintes combinações de BC (%) e P (mg dm⁻³): 0-0, 0-50, 0-100, 0-200, 0-400, 5-0, 5-50, 5-100, 5-200, 5-400, 10-0, 10-50, 10-100, 10-200, 10-400, 20-0, 20-50, 20-100, 20-200, 20-400, 35-0, 35-50, 35-100, 35-200 e 35-400.

As características químicas do biochar e dos substratos-testemunhas foram determinadas em laboratório (Tabela 1), ao final da pesquisa, após a correção com calcário. Para a correção da acidez do solo, adicionaram-se 2 kg m⁻³ de calcário dolomítico (PRNT 90%) a cada substrato, em ambos os experimentos. Essa correção foi definida com base nas

quantidades de Al³⁺ e Ca²⁺ + Mg²⁺ trocáveis – conforme análises de solos oriundos da mesma área de onde se retirou o Latossolo Amarelo – e no PRNT do calcário utilizado. O carvão vegetal foi produzido em forno convencional, com a carbonização parcial de madeira de eucalipto à temperatura constante de 500°C. Posteriormente, o material foi moído e peneirado para apresentar granulometria inferior a 0,5 mm.

No experimento com N, avaliaram-se 20 plantas por tratamento, aos 210 dias após a semeadura (DAS), quanto à altura, diâmetro, massa de matéria seca da parte aérea e massa de matéria seca do sistema radicular. No experimento com P, em razão dos diferentes tempos de resposta ao elemento, as mesmas variáveis foram determinadas aos 120 DAS, em todas as 51 plantas de cada tratamento. Para a determinação da biomassa da parte aérea e do sistema radicular, utilizaram-se 30 plantas por tratamento. A massa de matéria seca foi determinada em balança de precisão, após a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até obtenção de massa constante.

A partir dos resultados, calcularam-se as seguintes relações: entre altura e diâmetro (H/D); altura e massa de matéria seca da parte aérea (H/MSPA); massa de matéria seca da parte aérea e massa de matéria seca do sistema radicular (MSPA/MSR); e o índice de qualidade de Dickson – IQD = [MST/(H/D)+(MSPA/MSR)] –, conforme Dickson et al. (1960), para efeitos de comparação da qualidade das mudas entre os tratamentos.

As concentrações foliares de N, P, K, Ca e Mg das mudas, em cada tratamento, foram determinadas em laboratório, conforme metodologia descrita por Silva (1999). Verificou-se a diferença da concentração de cada nutriente e calculou-se a EUN (g biomassa foliar por g de nutriente) de acordo com Chapin (1980).

Tabela 1. Características químicas do substrato-testemunha e do biochar utilizados para a formação de substratos, para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* em viveiro.

Tratamento	pH CaCl ₂	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ -----	H+Al -----	CTC -----	P -----	K ⁺ -----	S -----	V -----	MO -----	Argila (g kg ⁻¹)
Testemunha N ⁽¹⁾	5,4	9,4	4,5	6,6	20,9	4,2	128,0	nd	68,3	4,8	170
Testemunha P ⁽²⁾	5,1	4,4	2,3	4,6	11,5	1,2	69,0	nd	59,9	2,5	195
Biochar	6,7	5,4	1,7	0,6	8,2	47,8	164,0	35,6	92,3	3,5	-

⁽¹⁾Latossolo Amarelo utilizado para o experimento com nitrogênio. ⁽²⁾Latossolo Amarelo utilizado para o experimento com fósforo. Características determinadas conforme metodologia proposta por Silva (1999): Al+H, acidez potencial; Mg²⁺, Ca²⁺ e K⁺, teores de magnésio, cálcio e potássio trocáveis; S, enxofre; CTC, capacidade de troca de cátions, pH 7,0; P, teor de fósforo extraível por Mehlich 1; C, teor de carbono orgânico; V, saturação por bases; MO, teor de matéria orgânica do solo; nd, não determinado.

Os parâmetros de crescimento e qualidade das mudas, bem como os níveis nutricionais e a EUN, foram submetidos à análise de variância e, quando os resultados apresentaram significância de 5%, os dados foram analisados pelo estudo de regressão polinomial (superfície de resposta). Inicialmente, verificou-se a significância das interações entre BC e N e entre BC e P e, quando estas não mostraram significância, efetuou-se o estudo de regressão de primeiro e segundo graus. Para a realização das análises estatísticas, utilizou-se o programa Statistica (Statsoft Inc., Tulsa, OK, EUA).

Resultados e Discussão

As mudas de angico não apresentaram diferenças significativas quanto ao crescimento, em relação às interações entre os fatores biochar e N ou biochar e P (Tabelas 2 e 3). No entanto, os valores médios verificados para os parâmetros altura, diâmetro, MSPA e MSR são semelhantes aos resultados observados

para essa espécie, em estudos com diferentes tipos de substratos e adubações (Gomes et al., 2004; Bernardino et al., 2005; Chaves et al., 2006; Gonçalves et al., 2008), o que mostra que as mudas de angico, em ambos os experimentos, apresentaram condições de crescimento adequadas aos observados em diferentes formas de produção.

A ausência de interferência no crescimento das mudas de angico pode estar relacionada aos seus baixos requerimentos nutricionais (Gonçalves et al., 2012). Isso favorece seu desenvolvimento em condições de reduzida fertilidade de solos, fator diretamente relacionado à adaptabilidade dessa espécie a diferentes regiões (Lorenzi, 2008). Além disso, trata-se de uma espécie que apresenta associações simbióticas em suas raízes, que também auxiliam no seu crescimento e nutrição e podem ser suficientes para suprir suas necessidades nutricionais, principalmente quanto a N e P (Santos et al., 2008). As concentrações de nutrientes nos solos utilizados estão acima do nível crítico para

Tabela 2. Valores médios de altura (H), diâmetro (D), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca do sistema radicular (MSR), relações entre H/D e MSPA/MSR, concentrações foliares de N, P, K e Ca, e eficiência de uso (EU) de N, P, K e Ca, em mudas de *Anadenanthera colubrina*, aos 210 dias após a semeadura, com a combinação de doses de biochar (BC) e nitrogênio (N).

BC x N	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	MSPA ----- (g) -----	MSR	H/D	MSPA/MSR	N	P	K	Ca	EU N	EU P	EU K	EU Ca
							----- (g kg ⁻¹) -----				----- (g g ⁻¹) -----			
0-0	48,50	3,29	3,99	4,64	14,76	0,86	21,1	2,4	3,6	15,8	190,2	1666,0	1115,1	253,1
0-50	51,53	3,22	3,78	3,74	16,01	1,01	22,5	2,1	4,2	15,0	168,3	1785,3	901,4	252,9
0-100	48,90	3,21	3,82	3,71	15,26	1,03	22,4	2,0	4,0	16,3	169,9	1921,2	954,8	234,3
0-200	54,22	3,50	4,30	4,11	15,47	1,05	20,0	2,3	3,5	15,8	217,8	1891,0	1259,2	280,1
5-0	50,79	3,12	4,11	3,80	16,29	1,08	23,8	2,1	4,3	14,2	173,8	1930,8	968,5	291,9
5-50	59,12	3,72	5,15	4,17	15,89	1,24	22,8	2,1	4,2	14,4	224,6	2491,0	1218,4	356,3
5-100	59,16	3,47	4,66	3,36	17,03	1,39	22,1	2,2	3,7	14,6	211,1	2134,2	1274,4	319,4
5-200	49,95	3,44	4,00	3,73	14,52	1,07	21,0	2,2	3,6	14,3	192,5	1805,7	1122,7	282,1
10-0	47,65	3,42	3,96	4,50	13,93	0,88	20,8	2,6	3,9	15,9	189,0	1539,1	996,8	248,7
10-50	49,00	3,44	4,07	3,58	14,26	1,14	20,6	2,0	3,9	14,2	197,2	1972,6	1043,7	285,3
10-100	52,28	3,65	4,60	4,01	14,33	1,15	21,3	2,0	3,8	13,5	220,8	2377,4	1251,9	345,4
10-200	45,69	3,47	3,77	4,06	13,16	0,93	20,3	1,7	3,5	14,3	195,0	2298,2	1110,3	276,4
20-0	38,44	3,05	3,28	3,70	12,59	0,89	20,2	2,3	3,9	13,1	175,7	1547,3	910,1	266,1
20-50	59,68	4,28	5,56	5,29	13,95	1,05	20,4	2,8	4,1	12,6	274,1	1974,2	1352,1	969,5
20-100	53,74	3,88	5,30	4,90	13,84	1,08	23,9	2,4	4,1	16,1	223,0	2171,4	1302,6	331,4
20-200	48,24	3,68	4,85	4,90	13,11	0,99	21,4	2,2	4,4	17,9	231,0	2240,4	1118,7	274,9
35-0	53,11	3,47	4,47	4,50	15,29	0,99	23,7	2,4	4,5	18,1	188,2	1858,7	987,7	246,2
35-50	49,63	3,42	4,45	5,05	14,49	0,88	22,1	2,6	4,1	17,4	202,1	1722,3	1100,7	256,9
35-100	49,10	3,77	4,58	6,01	13,03	0,76	23,5	2,8	4,4	18,5	196,1	1669,8	1050,6	248,4
35-200	57,70	4,32	6,01	7,37	13,34	0,82	22,4	2,3	3,9	17,7	268,7	2602,8	1568,2	338,2
p	0,81 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,86 ^{ns}
R ²	0,18	0,51	0,45	0,65	0,59	0,43	0,37	0,36	0,57	0,78	0,44	0,46	0,38	0,22

^{ns}Não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de regressão polinomial.

a espécie, conforme Gonçalves et al. (2012), exceto a concentração de P (Tabela 1). Este fato mostra que os substratos-base garantiram o crescimento adequado das mudas nesses arranjos experimentais.

Quanto à qualidade das mudas, não houve diferenças significativas para os parâmetros H/DM e MSPA/MSR, nos diferentes arranjos dos fatores biochar e N (Tabela 2), e para os parâmetros H/MSPA e IQD nas interações entre biochar e P (Tabela 3). Mas, os valores médios observados estão de acordo com os estabelecidos como ideais para a espécie (Birchler et al., 1998; Bernardino et al., 2005; Caldeira et al., 2008). Nesse caso, as relações alométricas entre parte aérea e radicular mostraram-se balanceadas, mas as mudas tendem a apresentar maior altura em relação ao

diâmetro, o que prejudica sua sobrevivência em campo (Gomes et al., 2002).

No entanto, para a interação entre biochar e N, a qualidade das plantas, medida pela relação H/MSPA e pelo IQD, foi superior, conforme o aumento dos níveis de BC (acima de 25%) e N (acima de 150 mg dm⁻³) utilizados em conjunto (Figura 1). Os valores de H/MSPA (Figura 1 A) foram semelhantes aos valores entre 11,6–26,4 encontrados por Bernardino et al. (2005), o que determina sua maior lignificação e maior sobrevivência em campo (Gomes et al., 2002). Essa interação também promoveu melhor equilíbrio das relações alométricas, calculadas pelo índice de qualidade de Dickson (IQD), com um acréscimo médio de 73% (IQD=0,40) em relação à testemunha

Tabela 3. Valores médios de altura (H), diâmetro (D), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca radicular (MSR), relação H/MSPA, índice de qualidade de Dickson (IQD), concentrações foliares de N, P e Mg, e eficiência de uso (EU) de N, P e Mg, em mudas de *Anadenanthera colubrina*, aos 120 dias após a semeadura, com a combinação de doses de biochar (BC) e fósforo (P).

BC x P	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	MSPA ------(g)-----	MSR	H/MSPA	IQD	N ------(g kg ⁻¹)-----	P	Mg	EU N ------(g g ⁻¹)-----	EU P	EU Mg
0-0	17,70	1,95	1,02	1,21	17,36	0,22	17,94	1,74	4,24	65,3	622,6	254,7
0-50	21,13	2,09	1,26	1,08	16,83	0,21	24,75	2,32	4,81	50,8	559,0	262,9
0-100	24,20	2,36	1,57	1,24	15,38	0,24	21,28	1,79	4,68	73,9	924,8	336,1
0-200	23,95	2,20	1,63	1,18	14,66	0,23	20,11	1,65	4,97	82,9	989,5	328,3
0-400	25,15	2,32	1,81	1,03	13,90	0,23	20,98	0,78	2,28	86,3	2339,7	803,1
5-0	18,24	2,04	1,17	1,31	15,54	0,25	21,18	2,35	3,86	55,9	503,1	305,0
5-50	20,02	2,13	1,26	1,32	15,83	0,25	20,57	1,96	4,06	61,6	645,8	314,0
5-100	20,96	2,18	1,44	1,28	14,61	0,25	20,84	1,53	3,54	69,1	1015,3	489,9
5-200	23,09	2,20	1,54	1,30	15,00	0,24	21,43	1,63	4,18	72,3	943,8	365,7
5-400	25,88	2,23	1,83	1,30	14,16	0,24	23,05	1,67	5,30	80,7	1104,3	358,4
10-0	21,38	2,13	1,23	1,27	17,44	0,23	20,42	2,10	3,89	60,0	589,4	316,0
10-50	21,41	2,00	1,13	1,18	18,97	0,20	21,31	1,75	3,23	53,1	733,7	380,0
10-100	22,75	2,16	1,25	1,24	18,23	0,22	20,38	1,65	3,50	61,8	896,8	413,2
10-200	21,59	2,07	1,24	1,32	17,36	0,22	20,34	1,71	4,30	61,8	725,9	293,4
10-400	27,17	2,31	1,71	1,39	15,90	0,24	22,24	1,60	4,98	79,0	1079,6	344,3
20-0	19,50	1,88	0,94	0,94	20,72	0,17	23,16	2,08	4,27	40,9	453,9	221,5
20-50	20,32	1,86	0,92	1,04	22,12	0,17	21,73	2,15	4,42	42,8	439,7	209,4
20-100	19,91	1,87	1,03	1,18	19,37	0,19	23,05	2,08	4,26	44,7	500,8	241,8
20-200	23,22	2,10	1,18	1,41	19,60	0,22	20,92	1,69	4,67	56,5	710,0	252,9
20-400	27,46	2,42	1,86	1,94	14,73	0,31	21,08	1,26	3,45	89,9	1662,2	621,8
35-0	18,20	1,94	0,97	1,31	18,70	0,23	20,10	1,60	2,50	48,4	652,4	417,1
35-50	20,13	2,13	1,26	1,81	16,03	0,30	18,61	1,61	2,61	67,5	952,7	626,3
35-100	18,82	2,01	1,11	1,35	16,89	0,24	20,50	2,53	2,91	54,6	441,3	439,3
35-200	22,38	2,19	1,37	1,52	16,30	0,26	18,65	1,84	3,20	73,9	763,4	436,3
35-400	23,86	2,29	1,76	1,71	13,53	0,30	18,80	1,54	3,74	96,0	1160,8	481,3
P	0,99 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,15 ^{ns}
R ²	0,81	0,65	0,86	0,50	0,64	0,43	0,29	0,47	0,32	0,79	0,70	0,41

^{ns}Não significativo, a 5% de probabilidade, pelos testes de regressão polinomial.

(Figura 1 B), e valores mais próximos de 1, o que representa melhor qualidade (Binotto, 2010).

Para a interação biochar e P, a qualidade das mudas foi significativa na relação H/D, com influência do acréscimo de P ao substrato (Figura 2 A), e na relação MSPA/MSR, em que houve influência da interação entre as doses de BC e P (Figura 2 B). Para a relação H/D, o acréscimo de P acima de 50 mg dm⁻³ causou a redução da qualidade das mudas, uma vez que valores maiores do que 10 determinam mudas com menor qualidade (Birchler et al., 1998). Para a relação MSPA/MSR, a melhor qualidade é verificada com valores abaixo de dois (Birchler et al., 1998). Assim, fica evidente que as interações de biochar e P promoveram mudas de alta qualidade. Todavia, doses maiores de P, em conjunto com baixas doses de biochar, não promovem uma relação MSPA/MSR adequada.

Os efeitos do uso de biochar com N e P sobre o IQD e sobre a relação MSPA/MSR, respectivamente, são fortes indicativos de melhor desempenho (Dickson et al., 1960), pois esses parâmetros avaliam a distribuição da biomassa na muda (Binotto et al., 2010). Isso pode validar com segurança a eficácia do uso do biochar para aumentar a qualidade das mudas de angico, mostrando a melhor relação das características

alométricas. Estas relações são particularmente importantes por evidenciar a adequada distribuição entre crescimento aéreo e radicular, o que favorece a sobrevivência das plantas em condições de campo, graças à maior capacidade das raízes de suprir as necessidades de nutriente e água para a biomassa aérea (Fernandes, 2006).

A ação do biochar para melhorar as relações alométricas das mudas fica evidente, quando se verifica que a adição isolada de P ou N implica perda de qualidade, pois a muda se torna muito alta em comparação ao diâmetro (estiolamento) e com maior aporte de biomassa aérea do que radicular.

A parte aérea mais desenvolvida em relação à radicular fragiliza a muda quanto à resistência à seca, especialmente nas condições de sazonalidade do bioma Cerrado. Este efeito se dá pelo fato de o volume excessivo da copa, em comparação ao volume radicular, produzir mais transpiração do que as raízes poderiam suprir quanto à demanda de água durante os dias mais quentes e secos, o que pode levar a muda ao estresse hídrico em campo (Resende et al., 2011).

O adequado desenvolvimento da planta ocorre quando os principais nutrientes estão disponíveis (Fageria, 2008). Assim, a adição isolada de apenas

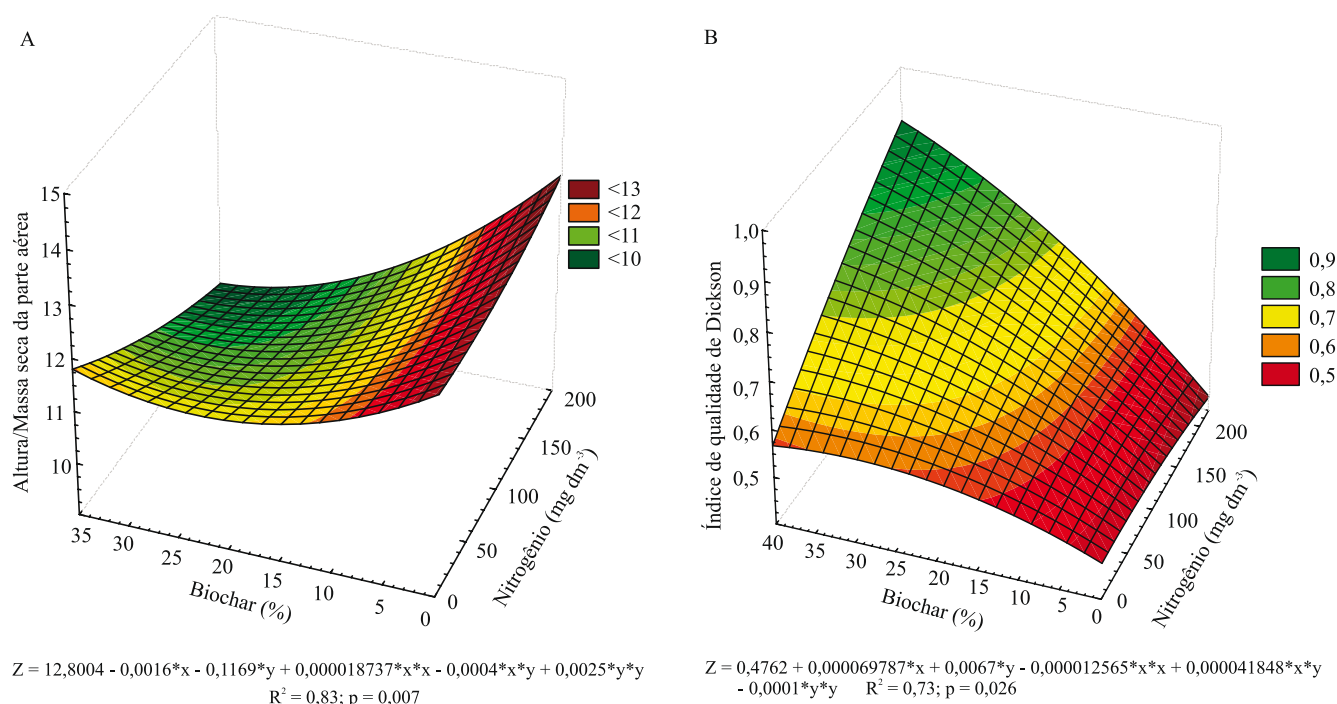


Figura 1. Relação entre altura e massa de matéria seca da parte aérea (A), e índice de qualidade de Dickson (B) em mudas de *Anadenanthera colubrina*, aos 210 dias após a semeadura, com a combinação de doses de biochar e nitrogênio.

um elemento, como P ou N, pode favorecer o melhor desempenho para uma determinada característica em detrimento de outras e ocasionar o desequilíbrio nas relações alométricas, o que resulta em qualidade inferior da planta. Como o angico apresenta respostas diferentes à adubação conforme o substrato utilizado (Samôr et al., 2002; Chaves et al., 2006; Gonçalves et al., 2008; 2012), deve-se verificar a eficácia do uso de biochar em solos distróficos, em que a espécie tem apresentado melhores respostas à adubação (Gomes et al., 2004; Bernardino et al., 2005).

Pela avaliação nutricional das mudas de angico, a adição de biochar ou N à composição dos substratos não apresentou diferenças significativas quanto à concentração e eficiência de uso dos principais nutrientes (Tabela 2). No entanto, a faixa de suficiência dos nutrientes para a espécie, segundo Gonçalves et al. (2012), mostra que as mudas estavam com condições nutricionais adequadas. Uma exceção, no entanto, é o resultado observado para o Mg, pelo que se verifica aumento da concentração e redução da eficiência de uso, conforme o acréscimo da aplicação de biochar ao substrato (Figuras 3 A e B). A concentração foliar de Mg aumentou 55% ($2,26 \text{ g kg}^{-1}$), quando se utilizaram doses maiores de biochar (acima de 30%) e doses

baixas de N (abaixo de 100 mg dm^{-3}), em comparação à testemunha. Todavia, a eficiência de uso de Mg mostrou a redução de 7% ($65 \text{ g MSPA g}^{-1} \text{ Mg}$), a cada 10% de BC adicionados ao substrato, o que representa a diminuição de 30%, com o uso da maior dose testada.

Além da concentração de Mg no solo, a faixa de suficiência deste elemento no tecido vegetal (Tabela 1 e Figura 3 A) também se encontra acima dos níveis críticos ($1,7$ a $1,9 \text{ g kg}^{-1}$) para o angico, segundo Gonçalves et al. (2012). Tal condição garante o desenvolvimento adequado desta espécie, sem a necessidade de maior absorção desse nutriente, que ocasiona redução da eficiência de uso com o aumento da absorção de Mg promovido pela aplicação de biochar, sem o aumento da produção de biomassa.

O aumento da concentração foliar de Mg observada com o uso de biochar, mostra sua possível interferência nas características do solo, como o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e a redução da acidez, além de favorecer a absorção de nutrientes pela planta (Lehmann, 2007; Carvalho et al., 2014). O biochar pode, ainda, ser fonte de fertilizantes, como de P, em função da elevada concentração desse nutriente nas características químicas do produto (Tabela 1). Também é possível observar que o aumento da

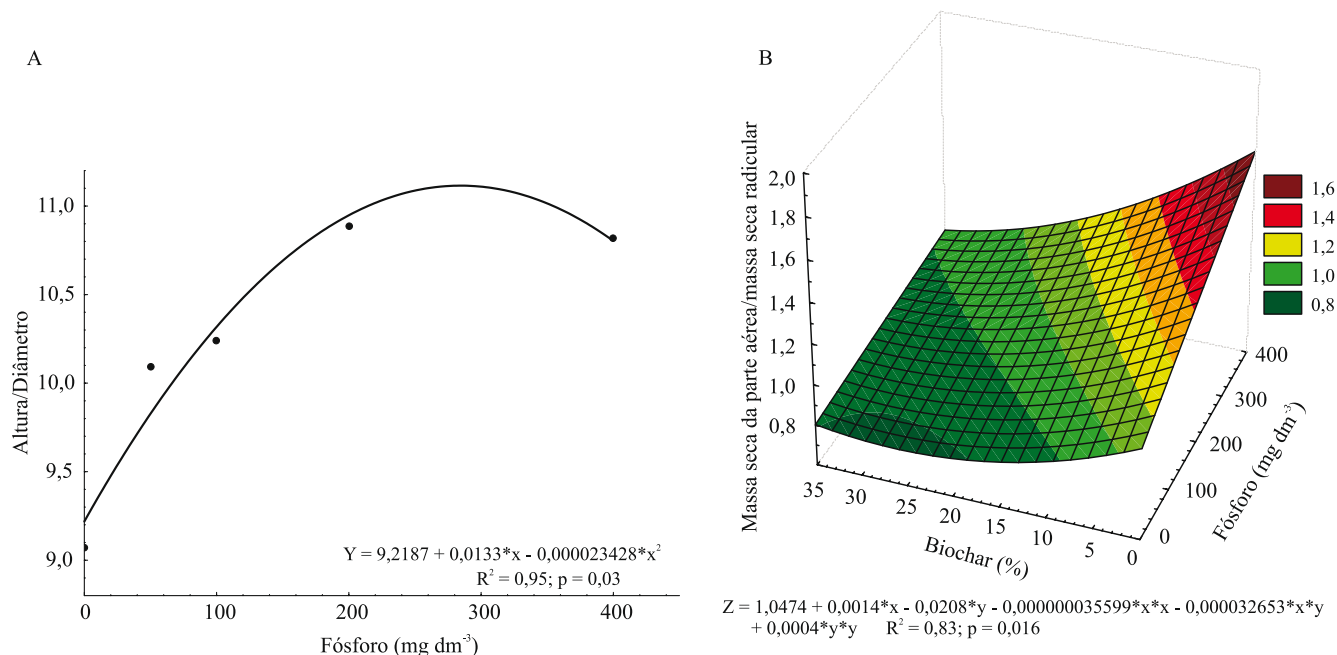


Figura 2. Qualidade de mudas de *Anadenanthera colubrina* aos 120 dias após a semeadura, com base na relação entre altura e diâmetro, com o acréscimo de doses de fósforo (A), e na relação entre massa de matéria seca da parte aérea e massa de matéria seca radicular, com a combinação de doses de biochar e fósforo nos substratos (B).

concentração de nutrientes nas plantas nem sempre é refletido em resultado para a qualidade dessa planta, pois, nesse caso, o aumento da concentração não está associado ao aumento da eficiência de uso do nutriente.

Na avaliação nutricional das mudas de angico sobre as interações entre biochar e P, com exceção dos nutrientes K e Ca, não se registraram diferenças significativas quanto à concentração e eficiência de uso dos nutrientes (Tabela 3). Apesar de não apresentar diferença quanto aos fatores biochar e P, as mudas estavam em condições nutricionais adequadas, considerando-se a faixa crítica dos nutrientes no tecido foliar determinada por Gonçalves et al. (2012).

Houve aumento quanto à concentração de K, com a adição de biochar de até 17%, porém, seu uso isolado não foi suficiente para o incremento da eficiência de uso do elemento, uma vez que não houve maior produção de biomassa conforme a maior absorção do nutriente (Figuras 4 A e B). Para a eficiência de uso desse elemento, a interação entre doses de biochar, de até 10%, e de P, na maior dose, promoveu os melhores resultados (Figura 4 B), mostrando efeitos da adubação fosfatada no uso de K pela planta e, ao mesmo tempo, pouca sinergia entre P e biochar nesta variável. Ou seja, a adição isolada de biochar ou de doses de P menores do que 350 mg dm⁻³ não resultou em aumento da eficiência

de uso de K pelas plantas. Apesar de a concentração de K no substrato-base encontrar-se dentro do nível crítico estabelecido para o angico (Tabela 1), a faixa de suficiência nas folhas estava abaixo do estabelecido como ideal (6,0 e 8,5 g kg⁻¹) segundo Gonçalves et al. (2012) (Figura 4 A). Esta condição pode explicar a resposta à aplicação de biochar, pois este promoveu o aumento da concentração do elemento nas folhas até atingir o máximo estabelecido como ideal para a espécie.

O aumento da absorção de nutrientes já é discutido como uma característica inerente ao biochar (Lehmann, 2007; Carvalho et al., 2014), mas tal efeito não é diretamente relacionado ao aumento da eficiência de uso de nutrientes, como observado para o K. Segundo Fageria (2008), há interação positiva de P e K que pode estar associada ao aumento do crescimento e produtividade de plantas com adubação fosfatada, o que justificaria a maior eficiência de uso de K, com o uso de biochar em conjunto com P.

A absorção de Ca foi maior com a interação entre doses de biochar e as maiores doses de P, conforme evidenciada pela concentração do elemento no tecido foliar, em que se observou um acréscimo médio de 23% (3,3 g kg⁻¹) (Figura 4 C). A interação entre doses menores de BC e doses maiores de P também promoveu o aumento dos valores para a eficiência de uso de Ca

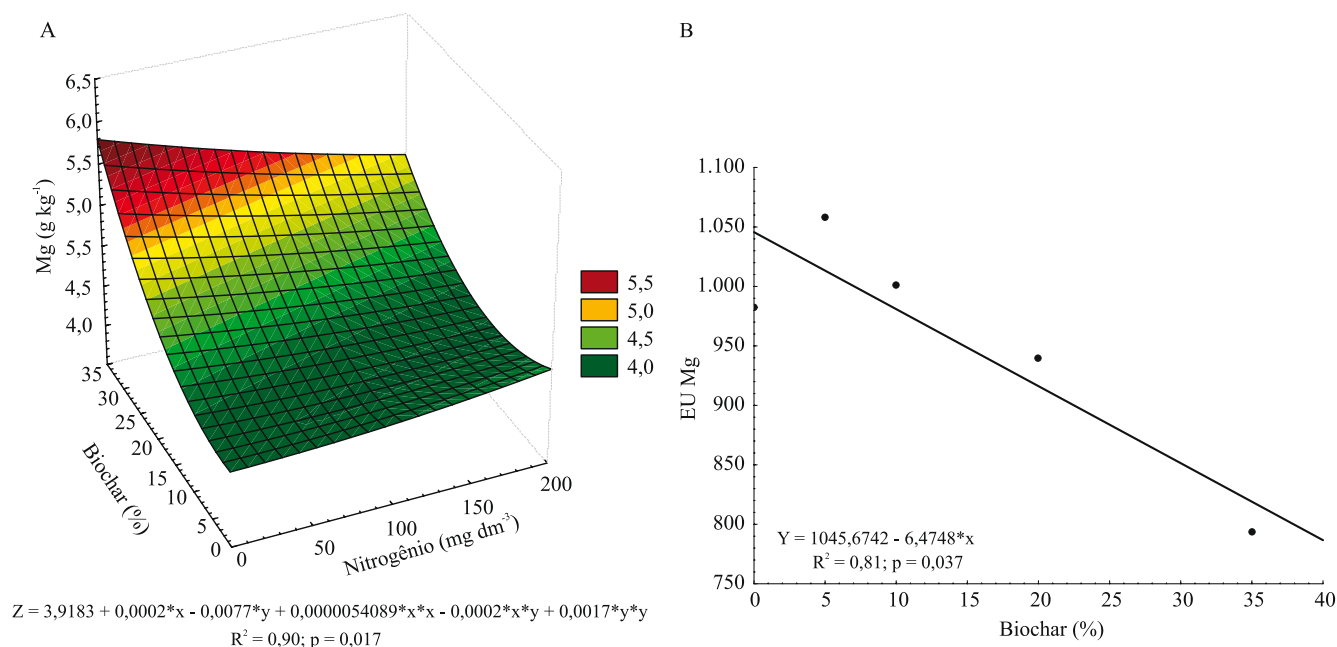


Figura 3. Concentração foliar de Mg (A), com a combinação de doses de biochar e nitrogênio, e eficiência de uso (EU) de Mg (B), com o acréscimo de doses de biochar ao substrato, em mudas de *Anadenanthera colubrina*, aos 210 dias após a semeadura.

(Figura 4 D), o que tornou as mudas mais aptas à produção de biomassa por quantidade de nutrientes.

Como o superfosfato simples contém, em média, 20% de Ca, o aumento das doses de P nos substratos aumenta também a concentração de Ca, mas isso não se refletiu no melhor aproveitamento do Ca pela planta, pois a adição de P, isoladamente,

não mostrou incremento da concentração foliar e da eficiência de uso para o Ca. A existência de sinergia entre biochar e P fica evidente, nesse caso, em que a adição isolada de doses de biochar ou de P não foi suficiente para interferir significativamente nos resultados de concentração e eficiência de uso de Ca.

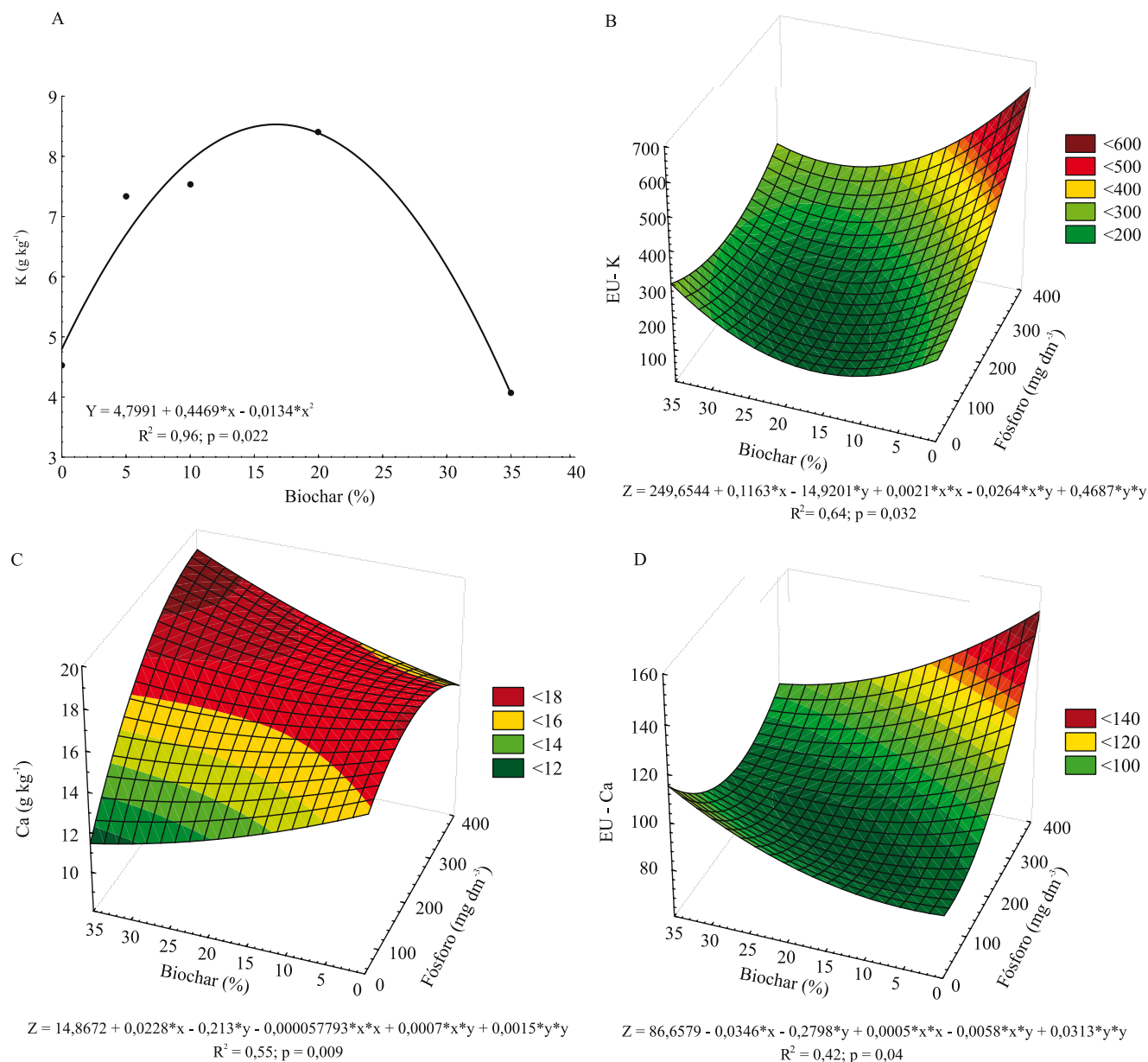


Figura 4. Concentração foliar de K de acordo com o acréscimo de doses de biochar (A), eficiência de uso (EU) de K de acordo com a combinação de doses de biochar e fósforo (B), concentração foliar de Ca e EU de Ca de acordo com a combinação de doses de biochar e fósforo (C e D), em mudas de *Anadenanthera colubrina*, aos 120 dias após a semeadura.

Além da concentração de Ca no solo, a faixa de suficiência deste elemento no tecido foliar também está acima do considerado como nível crítico (5 a 12 g kg⁻¹) para o angico, conforme Gonçalves et al. (2012) (Tabela 1 e Figura 4 C). No entanto, a ação do biochar em conjunto com o P aumentou a concentração e a eficiência de uso deste elemento. Segundo Fageria (2008), o aumento de P nos substratos, na maioria dos casos, beneficia o desenvolvimento vegetal, principalmente em situações em que sua concentração está abaixo do ideal para o desenvolvimento da espécie (Gonçalves et al., 2012), como observado no presente trabalho. Entretanto, o aumento da concentração de P requer também maiores concentrações de macronutrientes disponíveis para as plantas, como Ca, função esta que pode ser exercida pelo biochar (Lehmann, 2007) e pode explicar o melhor desempenho da interação entre BC e P (sinergia).

Apesar de apresentarem baixa resposta em relação à adubação, quanto ao crescimento da biomassa aérea e radicular, as mudas de angico apresentaram maior qualidade e eficiência de uso de alguns nutrientes, com a aplicação de biochar em conjunto com N ou P, o que auxilia a continuidade do seu bom desenvolvimento em condições extremas de campo. Esses resultados indicam o potencial benéfico do biochar, em conjunto com os macronutrientes N e P, em sistema de produção de mudas dessa espécie, o que favorece as práticas de restauração florestal no Cerrado onde, geralmente, as condições em campo são mais extremas em consequência da sazonalidade climática que ocorre na área do bioma.

Conclusões

1. Os usos de biochar e dos macronutrientes N e P não afetaram o crescimento das mudas de angico (*Anadenanthera colubrina*), principalmente em função das características químicas do solo-base utilizado, que estavam de acordo com as exigências da espécie.

2. O uso do biochar em solos com características desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal do angico ou de outras espécies nativas, pode mostrar resultados diferenciados e beneficiar o crescimento vegetal.

3. Apesar de não afetar o crescimento, a interação entre doses de biochar e os macronutrientes N e P promove efeitos positivos sobre a qualidade das mudas e mostra o potencial de uso do produto em sistemas de produção de mudas.

4. As interações entre o biochar e N ou P mostram efeitos diversos sobre as características nutricionais do angico, o que é indicativo de que avaliações com diferentes arranjos de adubações e doses de biochar podem causar efeitos diversos sobre a produção de mudas.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 575019/2008), pelo auxílio financeiro; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio financeiro e concessão de bolsa de produtividade em pesquisa; ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, da Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat); e à Equipe de Pesquisa do Laboratório de Ecologia Vegetal de Nova Xavantina, MT, pelo apoio técnico.

Referências

- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.; HE, Z.L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.32, p.921-950, 2001. DOI: 10.1081/CSS-100104098.
- BERNARDINO, D.C. de S.; PAIVA, H.N. de; NEVES, J.C. de L.; GOMES, J.M.; MARQUES, V.B. Crescimento e qualidade de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan em resposta à saturação por bases do substrato. **Revista Árvore**, v.29, p.863-870, 2005. DOI: 10.1590/S0100-67622005000600004.
- BINOTTO, A.F.; LÚCIO, A.D.C.; LOPES, S.J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v.16, p.457-464, 2010. DOI: 10.1590/S0104-77602010000400005.
- BIRCHLER, T.; ROSE, R.W.; ROYO, A.; PARDOS, M. La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. **Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, v.7, p.109-121, 1998.
- CALDEIRA, M.V.W.; BLUM, H.; BALBINOT, R.; LOMBARDI, K.C. Uso do residuo de algodão no substrato para produção de mudas florestais. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v.6, p.191-202, 2008.
- CARVALHO, M.T. de M.; MAIA, A. de H.N.; MADARI, B.E.; BASTIAANS, L.; VAN OORT, P.A.J.; HEINEMANN, A.B.; SILVA, M.A.S. da; PETTER, F.A.; MARIMON JR., B.H.; MEINKE, H. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. **Solid Earth**, v.5, p.939-952, 2014. DOI: 10.5194/se-5-939-2014.
- CHAPIN, F.S. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.11, p.233-260, 1980. DOI: 10.1146/annurev.es.11.110180.001313.

- CHAVES, L. de L.B.; CARNEIRO, J.G. de A.; BARROSO, D.G. Crescimento de mudas de angico vermelho produzidas em substrato fertilizado, constituído de resíduos agro-industriais. **Scientia Forestalis**, v.72, p.49-56, 2006.
- DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v.36, p.10-13, 1960. DOI: 10.5558/tfc36010-1.
- DOBSON, A.P.; BRADSHAW, A.D.; BAKER, A.J.M. Hopes for the Future: Restoration ecology and conservation biology. **Science**, v.277, p.515-522, 1997. DOI: 10.1126/science.277.5325.515.
- FAGERIA, N.K. **The use of nutrients in crop plants**. New York: CRC Press, 2008. 428p. DOI: 10.1201/9781420075113.
- FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432p.
- GOMES, J.M.; COUTO, L.; LEITE, H.G.; XAVIER, A.; GARCIA, S.L.R. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.26, p.655-664, 2002. DOI: 10.1590/S0100-67622002000600002.
- GOMES, K.C. de O.; PAIVA, H.N. de; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. de; SILVA, S.R. Influência da saturação por bases e do fósforo no crescimento de mudas de angico-branco. **Revista Árvore**, v.28, p.785-792, 2004. DOI: 10.1590/S0100-67622004000600003.
- GONÇALVES, E. de O.; PAIVA, H.N. de; NEVES, J.C.L.; GOMES, J.M. Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) sob diferentes doses de macronutrientes. **Revista Árvore**, v.32, p.1029-1040, 2008. DOI: 10.1590/S0100-67622008000600008.
- GONÇALVES, E. de O.; PAIVA, H.N. de; NEVES, J.C.L.; GOMES, J.M. Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. **Revista Árvore**, v.36, p.219-228, 2012. DOI: 10.1590/S0100-67622012000200003.
- HANSEN, M.C.; POTAPOV, P.V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S.A.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S.V.; GOETZ, S.J.; LOVELAND, T.R.; KOMMAREDDY, A.; EGOROV, A.; CHINI, L.; JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v.342, p.850-853, 2013. DOI: 10.1126/science.1244693.
- KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v.1, p.147-155, 2005.
- LAMB, D.; ERSKINE, P.D.; JOHN A.; PARROTTA, J.A. Restoration of degraded Tropical Forest landscapes. **Science**, v.310, p.1628-1632, 2005. DOI: 10.1126/science.1111773.
- LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.5, p.381-387, 2007. DOI: 10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p.1-12.
- LIMA, S.L.; MARIMON-JUNIOR, B.H.; PETTER, F.A.; TAMIOZZO, S.; BUCK, G.B.; MARIMON, B.S. Biochar as substitute for organic matter in the composition of substrates for seedlings. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, p.333-341, 2013. DOI: 10.4025/actasciagron.v35i3.17542.
- LIMA, S.L.; TAMIOZZO, S.; PALOMINO, E.C.; PETTER, F.A.; MARIMON-JUNIOR, B.H. Interactions of biochar and organic compound for seedlings production of *Magonia pubescens* A. St. Hil. **Revista Árvore**, v.39, p.655-661, 2015. DOI: 10.1590/0100-67622015000400007.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 368p.
- MAIA, C.M.B.F.; MADARI, B.E.; NOVOTNY, E.H. Advances in biochar research in Brazil. **Dynamic soil, Dynamic plant**, v.5, p.53-58, 2011.
- MUKOME, F.N.D.; ZHANG, X.; SILVA, L.C.R.; SIX, J.; PARIKH, S.J. Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, p.2196-2204, 2013. DOI: 10.1021/jf3049142.
- NOVOTNY, E.H.; DEAZEVEDO, E.R. de; BONAGAMBA, T.J.; CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V. de M.; HAYES, M.H.B. Studies of the compositions of humic acids from Amazonian dark earth soils. **Environmental Science and Technology**, v.41, p.400-405, 2007. DOI: 10.1021/es060941x.
- PETTER, F.A.; MADARI, B.E.; SILVA, M.A.S.; CARNEIRO, M.A.C.; CARVALHO, M.T.M.; BEN HUR MARIMON JÚNIOR, B.H.; PACHECO, L.P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.699-706, 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000500010.
- REIS, S.M.; MORANDI, P.S.; OLIVEIRA, B.; OLIVEIRA, E.A. de; VALADÃO, M.B.X.; MARIMON, B.S.; MARIMON-JUNIOR, B.H. Influência do sombreamento no desenvolvimento inicial e eficiência no uso de nutrientes de *Dilodendron bipinnatum* Radkl (Sapindaceae). **Scientia Forestalis**, v.43, p.581-590, 2015.
- RESENDE, S.V.; CREPALDI, I.C.; PELACANI, C.R.; BRITO, A.L. Influência da luz e substrato na germinação e desenvolvimento inicial de duas espécies de *Calliandra* Benth. (Mimosoideae - Leguminosae) endêmicas da Chapada Diamantina, Bahia. **Revista Árvore**, v.35, p.107-117, 2011. DOI: 10.1590/S0100-67622011000100013.
- SAMÔR, O.J.M.; CARNEIRO, J.G. de A.; BARROSO, D.G.; LELES, P.S.S. Qualidade de mudas de angico e sesbânia, produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, v.26, p.209-215, 2002.
- SANTOS, D.R. dos; COSTA, M. da C.S.; MIRANDA, J.R.P. de; SANTOS, R.V. dos. Micorriza e rizóbio no crescimento e nutrição em N e P de mudas de angico-vermelho. **Caatinga**, v.21, p.76-82, 2008.
- SILVA, F.C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- STEINER, C.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; MACÊDO, J.L.V. de; BLUM, W.E.H.; ZECH, W. Long term

effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. **Plant and Soil**, v.291, p.275-290, 2007. DOI: 10.1007/s11104-007-9193-9.

VERHEIJEN, F.G.A.; MONTANARELLA, L.; BASTOS, A.C. Sustainability, certification, and regulation of biochar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.649-653, 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000500003.

Recebido em 23 de maio de 2015 e aprovado em 21 de janeiro de 2016