

ARTIGO ORIGINAL

Efeito de diferentes espaçamentos de plantio de *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima na fertilidade do solo**Effect of different planting spacings of *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima on soil fertility**Tainah Silva Narducci^{1*} , Jorge Alberto Gazel Yared² , Silvio Brienza Júnior³ ,
Nagib Jorge Melém Júnior² , Suzane Serrano Cerveira¹, Vanessa Gomes de Sousa³ ¹Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, PA, Brasil²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Amapá, Macapá, AP, Brasil³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, Brasil

Como citar: Narducci, T. S., Yared, J. A. G., Brienza Júnior, S., Melém Júnior, N. J., Cerveira, S. S., & Sousa, V. G. (2023). Efeito de diferentes espaçamentos de plantio de *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima na fertilidade do solo. *Scientia Forestalis*, 51, e4021. <https://doi.org/10.18671/scifor.v51.31>

Resumo

Diferentes espaçamentos de plantio de espécies florestais podem atuar de forma distinta no aumento ou diminuição dos teores de elementos químicos do solo, o que interfere em sua composição e qualidade. A definição de espaçamento adequado de plantio de uma determinada espécie florestal é importante, não só para otimizar a produtividade, mas também para a tomada de decisões na recuperação de solos degradados. Este trabalho teve por objetivo avaliar as alterações ocorridas nas propriedades químicas de um solo sob plantio de *Tachigali vulgaris* em diferentes espaçamentos, com aproximadamente sete anos e meio de idade. O trabalho foi realizado na Fazenda Gênese, no município de Dom Eliseu (PA). As amostras de solo foram coletadas em quatro profundidades em parcelas de 30 m x 50 m com quatro repetições para cada espaçamento. Foram selecionados aleatoriamente dezesseis pontos de coleta de solo para cada parcela. As amostras de solo foram encaminhadas para o laboratório da Embrapa Amazônia Oriental onde foram feitas as análises químicas. Os resultados da PCA mostraram que o Al foi correlacionado negativamente com os demais atributos do solo em todas as profundidades. Os gráficos da ANOVA two-way ($p < 0,05$) demonstraram que o espaçamento 4 m x 3 m teve os maiores valores nos atributos químicos benéficos ao solo na maioria das profundidades em relação a pelo menos um dos outros dois espaçamentos estudados, e menores valores para o Al, tornando esse espaçamento o mais indicado para recuperação de áreas/solos degradados.

Palavras-chave: Leguminosa; Plantação florestal; Reflorestamento.

Abstract

Different planting spacings of forest species can act differently in increasing or decreasing the levels of chemical elements in the soil, which affects its composition and quality. Defining adequate planting spacing for a given forest species is important, not only to optimize productivity, but also for decision-making in the recovery of degraded soils. This work aimed to evaluate the changes occurring in the chemical properties of a soil planted with *Tachigali vulgaris* at different spacings, approximately seven and a half years old. The work was carried out at Fazenda Gênese, in the municipality of Dom Eliseu (PA). Soil samples were collected at four depths in 30 m x 50 m plots with four replications for each spacing. Sixteen soil collection points were randomly selected for each plot. The soil samples were sent to the Embrapa Amazônia Oriental laboratory where chemical analyzes were carried out. The PCA results showed that Al was negatively correlated with other soil attributes at all depths. The two-way ANOVA graphs ($p < 0.05$) demonstrated that the 4 m x 3 m spacing had the highest values in the chemical attributes beneficial to the soil at most depths in relation to at least one of the other two spacings studied, and lower values for Al, making this spacing the most suitable for recovering degraded areas/soils.

Keywords: Leguminous; Forest plantation; Reforestation.

Fonte de financiamento: Nenhuma.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: tainahnarducci@hotmail.com

Recebido: 28 maio 2023.

Aceito: 29 outubro 2023.

Editor: Mauro Valdir Schumacher.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o artigo científico seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

Um grande desafio no meio científico tem sido encontrar alternativas para melhorar os atributos químicos dos solos. O plantio de espécies florestais adequadas e de rápido crescimento é mencionado como de fundamental importância para restauração da cobertura vegetal de áreas que passaram por algum grau de degradação, assim como, para promover a proteção do solo contra erosão e visando a ciclagem de nutrientes (Oliveira et al., 2022). Além disso, a atividade de reflorestamento é recomendada para áreas em que os solos têm baixa fertilidade e elevada acidez (Bellote & Neves, 2001).

Diversos fatores são considerados importantes para melhorar a qualidade química do solo, destacando-se a escolha da espécie mais apropriada para a finalidade desejada e o seu manejo adequado. Dentre as espécies arbóreas, o plantio de leguminosas é uma das alternativas viáveis para a recuperação de áreas degradadas (Rodrigues et al., 2020). Nesse aspecto, *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima (tachi-branco), uma espécie arbórea nativa da Amazônia e pertencente à família Fabaceae, tem sido indicada para essa finalidade (Souza et al., 2008; Sousa et al., 2016).

Estudos têm mostrado a importância do tachi-branco, destacando-se o seu comportamento silvicultural extremamente promissor (Carpanezzi et al., 1983, Dias et al., 1992; Sousa et al., 2016), o seu rápido crescimento (Carpanezzi et al., 1983, Dias et al., 1992, 1993; Sousa et al., 2016), a sua aptidão para plantio em solos arenosos a argilosos, de baixa fertilidade química, bem drenados (Carvalho, 2005). Além disso, apresenta considerável adaptação a solos com alto teor de Al trocável, baixo pH (Lima, 2004) e às condições de solo da Amazônia (Santos et al., 2023).

O tachi-branco tem se destacado, ainda, pelo seu potencial econômico e ecológico para plantios florestais mistos (Brienza Júnior et al., 2008) ou homogêneos (Castro et al., 1998) e, ainda, para a produção de madeira com alto poder calorífico (Tomaselli et al., 1983), além dessas características, outra vantagem da espécie é apresentar associação com bactéria do gênero *Rhizobium*, o que lhe confere a capacidade de fixação de nitrogênio pelo seu sistema radicular (Franco et al., 1996).

Da mesma forma, outros fatores podem influenciar na disponibilidade de nutrientes no solo, como a profundidade, localidade, topografia, textura, teor de matéria orgânica e histórico de práticas agrícolas (Buck, 2015). No caso de implantação de povoamentos florestais, a escolha do espaçamento adequado torna-se elemento chave, pois pode afetar a sua produtividade e alterar a qualidade química do solo. Estudos recentes com o tachi-branco têm enfatizado avaliar o efeito do espaçamento do plantio sobre o padrão de crescimento da espécie e nas propriedades da madeira (Silva et al., 2021; Barros Júnior et al., 2022; Lima et al., 2023; Moraes et al., 2023). Entretanto, a influência do espaçamento de espécies nativas amazônicas na produtividade florestal e seus efeitos sob o solo tem sido pouco estudado. Conforme reportado por Rosa et al., (2018), em espaçamentos mais densos comparativamente aos mais amplos pode haver um empobrecimento químico do solo devido à maior demanda por nutrientes para as plantas. Todavia, nos espaçamentos mais densos as copas se fecham mais rapidamente e promovem maior depósito de liteira (Rosa et al., 2018) contribuindo para a ciclagem de nutrientes.

Os resultados de pesquisas científicas sobre o impacto do espaçamento na qualidade de nutrientes no solo podem revelar caminhos para a tomada de decisão e escolha do espaçamento mais adequado visando a recuperação de áreas degradadas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de três espaçamentos de plantio de tachi-branco nos atributos químicos do solo em diferentes profundidades.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido na Fazenda Gênese, localizado no município de Dom Eliseu, Pará, 04°33'10" de latitude sul e 47°49'0" de longitude oeste (Figura 1).

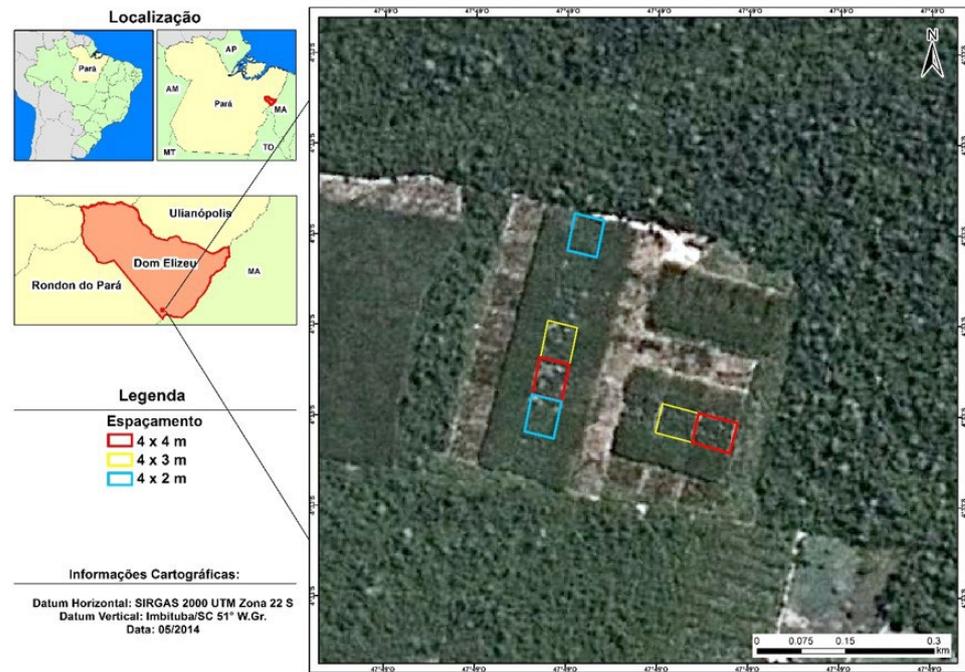


Figura 1. Localização da área experimental na Fazenda Gênese, município de Dom Eliseu (PA).

O município de Dom Eliseu tem características de clima como mesotérmico úmido, com temperatura média anual de 25° C, regime pluviométrico entre 2.250 mm e 2.500 mm, e chuvas regulares (em torno de 80%) concentradas entre os meses de janeiro a junho, e de vegetação como subtipo Floresta Densa da sub-região dos altos platôs do Pará-Maranhão, Floresta densa de planície aluvial e densa dos terraços (Pará, 2011).

Os solos existentes no município incluem Latossolo Amarelo, textura muito argilosa; Latossolo Amarelo, textura argilosa; Concrecionário Laterítico; Latossolo Amarelo, textura média e Areias Quartzosas em associações (Pará, 2011). Antes dos plantios das mudas de *Tachigali vulgaris* realizados na área de estudo, a equipe do Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental analisou as propriedades granulométricas, físicas e químicas do solo (Tabela 1, 2 e 3) (Sousa, 2011).

Tabela 1. Descrição do solo da área de estudo, Fazenda Gênese, Dom Eliseu, Pará.

Horizonte	Descrição
0 - liteira (0 - 2 cm)	Constituído de folhas e galhos decompostos e em decomposição
A (0 - 9 cm)	Cinza brunado claro (10 YR 6/2, úmido); argila pesada; moderada, pequena e média subangular e pequena granular; friável, muito plástico e muito pegajoso; transição plana e difusa
AB (9 - 22 cm)	Bruno muito pálido (10YR 7/4, úmido); argila pesada; moderada pequena e média subangular e granular; friável, muito plástico e muito pegajoso; transição plana e difusa
BA (22 - 40 cm)	Amarelo brunado (10YR 6/6, úmido); argila pesada; fraca a moderada pequena e média subangular e pequena granular; serosidade pouca e fraca; friável, muito plástico e muito pegajoso; transição plana e difusa
Bw1 (40 - 70 cm)	Amarelo (10 YR 7/6, úmido); argila pesada; moderada pequena e média subangular e pequena granular; serosidade pouca e fraca; friável, muito plástico e muito pegajoso; transição plana e difusa
Bw2 (70 - 110 cm)	Amarelo (10 YR 7/8, úmido); argila pesada; moderada pequena e média subangular e pequena granular; serosidade pouca e fraca; friável muito plástico e muito pegajoso; transição plana e difusa
Bw3 (110 - 160 cm)	Amarelo (10 YR 7/8, úmido); argila pesada; maciça porosa desfazendo-se em fraca, pequena e média subangular; muito friável, muito plástico e muito pegajoso

Fonte: Sousa (2011).

Tabela 2. Análise química do solo na profundidade de 0 – 20 cm, Fazenda Gênese, Dom Eliseu, Pará.

SIS	pH água	N (%)	MO (g/kg)	P (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	Na (mg/dm ³)	Ca (cmol/dm ³)	Ca+Mg (cmol/dm ³)	Al (cmol/dm ³)	H+Al (cmol/dm ³)
H-BI	5,9	0,2	35,1	6,0	70,3	19,3	4,1	5,8	0,2	3,2
H-BII	6,1	0,2	37,3	4,7	58,3	15,3	5,1	6,5	0,2	4,3

H: Sistema Homogêneo; B: bloco. Fonte: Adaptado de Sousa (2011).

Tabela 3. Descrição da análise granulométrica do solo da área de estudo, Fazenda Gênese, Dom Eliseu, Pará.

Identificação	Prof. (cm)	Granulometria (g/kg)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total
A1	0-9	12	14	214	760
AB	9-22	9	10	121	860
BA	22-40	6	8	106	880
BW 1	40-70	6	7	88	900
BW 2	70-110	6	10	145	840
BW 3	110-150	66	102	332	500

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental – Projeto Carbono Positivo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2009).

O preparo da área para o plantio experimental ocorreu em outubro de 2005, abrangendo o corte da vegetação existente (floresta tropical úmida altamente explorada), em seguida foi realizada a destoca com trator de esteiras com lâmina e amontoa para efetuar a queima da biomassa residual, posterior a isso, houve gradagem com grade niveladora utilizando-se trator de pneus (Sousa, 2011).

O plantio das mudas de *Tachigali vulgaris* foi feito em fevereiro de 2006. Antes do plantio das mudas foram aplicados nas covas 200g de Nitrogênio, Sódio e Potássio (NPK) na proporção 10:28:20, após o plantio as adubações de cobertura foram feitas no início (75g de NPK 10:28:20) e no final (75g de NPK 10:28:20) do período chuvoso e os tratos culturais (capina, coroamento, roçagem e desbaste) foram realizados duas vezes ao ano, no início e no final do período chuvoso (Sousa, 2011). A adubação na área do experimento foi realizada até o ano de 2009. A limpeza como os tratos culturais foi efetuada até início de 2010 (Narducci et al., 2020).

O solo, objeto deste estudo, foi coletado em agosto de 2013, quando as árvores apresentavam aproximadamente 7 anos e meio de idade. Alguns anos depois da última adubação e limpeza na área.

Os três espaçamentos de plantio analisados foram: 4 m x 2 m; 4 m x 3 m; e, 4 m x 4 m. Foram dispostas quatro parcelas de 50 m x 30 m para cada espaçamento onde foram sorteadas aleatoriamente 16 pontos de coleta em cada parcela (Figura 2).

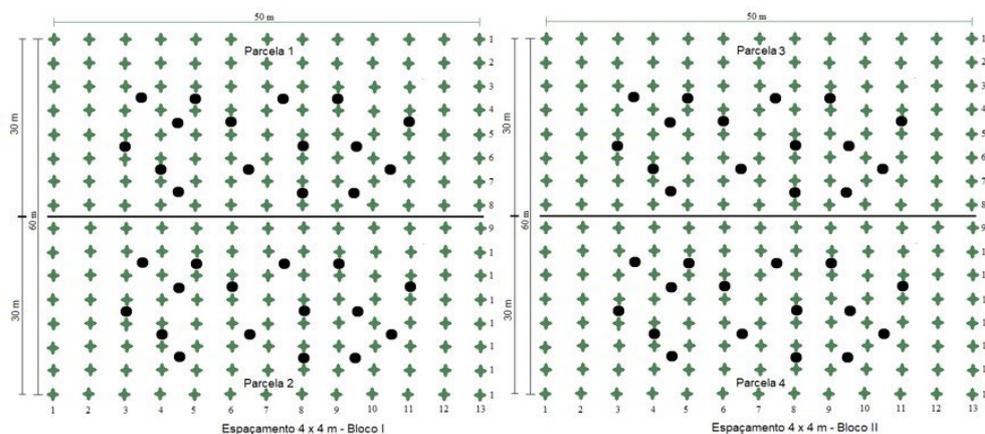


Figura 2. Croqui dos pontos de coleta de solo nas quatro parcelas no espaçamento 4 m x 4 m.

Foram coletadas amostras de solo em quatro profundidades (0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm). Para cada profundidade, foram coletadas 16 amostras onde essas amostras foram misturadas e retiradas quatro amostras compostas. Assim, foram obtidas um total de 192 amostras de solo e encaminhadas para o Laboratório de Solos da EMBRAPA Amazônia Oriental – Belém/PA para as análises dos atributos químicos pH, P, K, Na, Ca, Mg e Al de acordo com as metodologias descritas em Silva et al. (1998).

Para verificar a correlação entre a profundidade e a química do solo em diferentes espaçamentos, realizou-se uma análise de componentes principais (PCA) utilizando os pacotes “FactoMineR”, “facto extra” e “ggplot2” do software R versão 4.3.0 (R Core Team, 2023). Do mesmo modo foi feito um gráfico para cada profundidade para correlacionar os atributos químicos do solo e os espaçamentos.

Foram testadas a normalidade e homocedasticidade de variância dos dados por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente, ambos ao nível de 5% de probabilidade de erro. Em seguida, foi aplicada a Análise de Variância de duas vias (ANOVA Two-Way, $p < 0,05$) para os fatores Espaçamento e Profundidade. Após diferença estatística, as médias foram comparadas pelo teste post-hoc ($p < 0,05$) com correção de Bonferroni. Para os testes, utilizou-se os pacotes “rstatix” (Kassambara, 2023) e “DescTools” (Signorell, 2023) do software R v.4.2.2 (R Core Team, 2023).

RESULTADOS

A PCA mostrou que o primeiro componente principal (PC1) foi responsável por 56,68% da variância total dos dados relacionados aos atributos químicos do solo e profundidades, enquanto os dois primeiros componentes principais combinados explicaram 71,55% da variância total dos dados (Tabela 4). As variáveis pH, Ca, Mg, P, K e Na foram correlacionadas positivamente com o PC1, enquanto que Al e profundidade correlacionaram-se negativamente (Tabela 5). Na PC2, as variáveis Ca, pH e profundidade apresentaram correlação negativa (Figura 3).

Os dois primeiros componentes principais foram responsáveis por 78%, 78%, 80,80% e 75,80% da variância total dos dados relacionados aos atributos químicos do solo para as profundidades 0 - 5 cm (Figura 4a), 5 - 10 cm (Figura 4b), 10 - 20 cm (Figura 4c) e 20 - 30 cm (Figura 4d), respectivamente. Em todas as profundidades o Al foi correlacionado negativamente com os demais atributos do solo, sendo que a correlação negativa mais forte (-0,802) foi observada na última profundidade. Além disso, observou-se que no espaçamento 4 m x 3 m há tendência de apresentar menores teores de Al e maiores teores de Na, K, Mg, Ca, P e pH em todas as profundidades, enquanto o contrário ocorreu nos espaçamentos 4 m x 2 m e 4 m x 4 m (Figura 4).

Tabela 4. Autovalores dos fatores referentes às dimensões das componentes principais dos atributos químicos do solo (pH, P, Mg, Ca, Na, Al) e profundidades (0 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm) para diferentes espaçamentos de plantio de *Tachigali vulgaris*.

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4	Dim. 5	Dim. 6	Dim. 7	Dim. 8
Variância	4,535	1,190	0,981	0,563	0,291	0,220	0,143	0,078
Variância (%)	56,68	14,87	12,27	7,03	3,64	2,74	1,79	0,98
Cumulativo (%)	56,68	71,55	83,82	90,85	94,49	97,23	99,02	100,00

Tabela 5. Correlação das variáveis nas três dimensões que mais contribuíram para a variância total dos dados em plantio de *Tachigali vulgaris*.

Variáveis	Dim1	Dim2	Dim3
Profundidade	-0,600	-0,011	0,757
pH	0,666	-0,542	0,406
P	0,701	0,183	0,056
K	0,825	0,348	0,321
Na	0,671	0,588	0,250
Ca	0,943	-0,122	-0,146
Mg	0,853	0,102	-0,223
Al	-0,702	0,609	-0,058

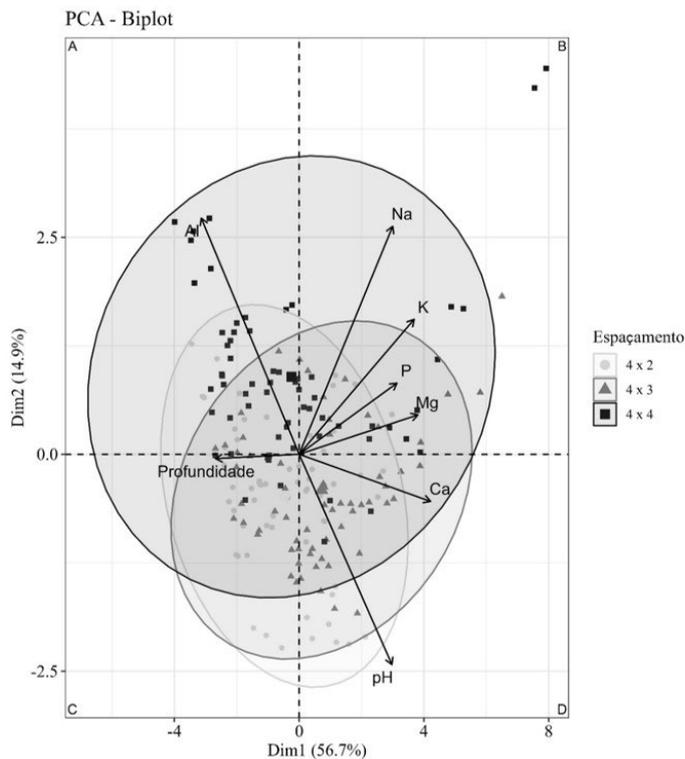


Figura 3. Biplot do componente principal dos atributos químicos do solo (pH, P, Mg, Ca, Na, Al, K) e profundidades (0 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm) para diferentes espaçamentos de plantio de *Tachigali vulgaris*.

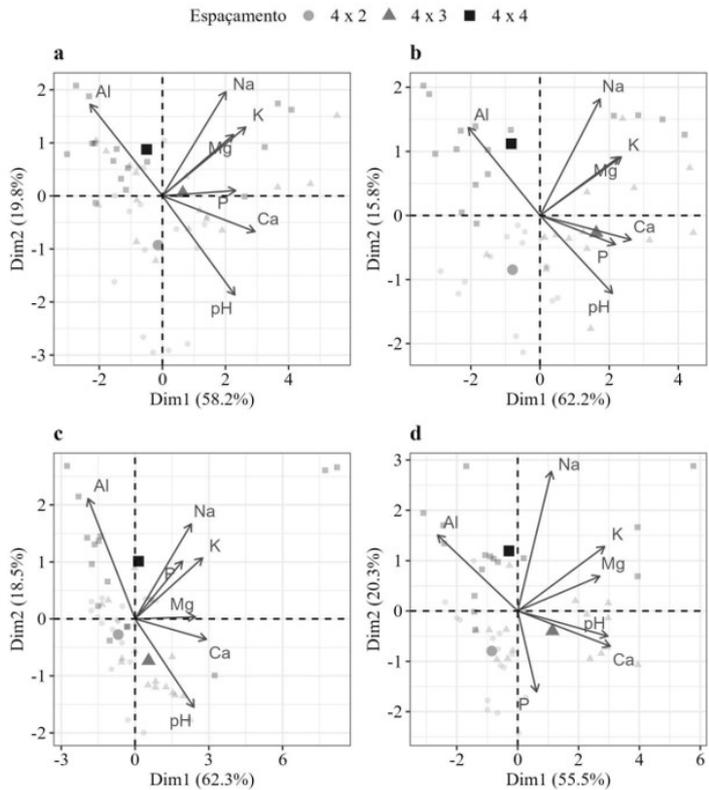


Figura 4. Biplot do componente principal dos atributos químicos do solo (pH, P, Mg, Ca, Na, Al e K) para as profundidades de 0 - 5 cm (a), 5 - 10 cm (b), 10 - 20 cm (c), 20 - 30 cm (c) para diferentes espaçamentos de plantio de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima.

No geral, na menor profundidade observou-se maior teor de todos os atributos químicos do solo com excessão do Al que foi maior na maior profundidade (Figura 5).

No maior espaçamento (4 m x 4 m) houve maior teor de Al e Na em todas as profundidades, diferindo-se estatisticamente pelo menos com um dos outros espaçamentos (Figura 5).

No espaçamento intermediário (4 m x 3 m) encontrou-se diferença estatística com maiores teores de Ca e K na maioria das profundidades. Enquanto para o Mg, exceto a profundidade 0-5 cm que não teve diferença estatística entre os demais espaçamentos. Já na profundidade 0-5 cm para P (nas profundidades 10-20 e 20-30 cm não houve diferença estatística) e nas profundidades 5-10 e 10-20 cm do pH (sem diferença estatística nas demais profundidades) em relação a pelo menos um dos outros espaçamentos (Figura 5).

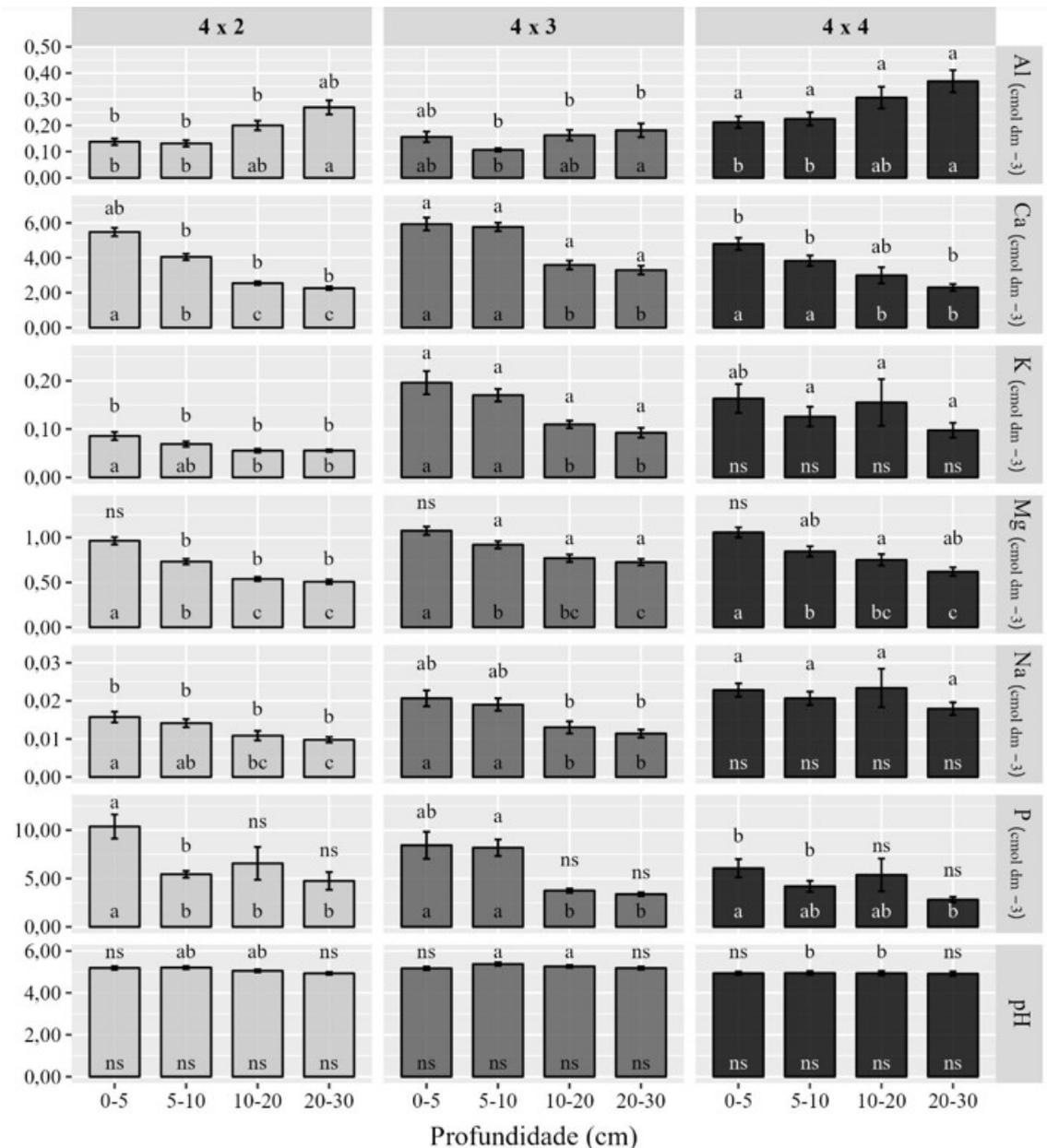


Figura 5. Média ± SE dos atributos químicos do solo para as profundidades de 0 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm em diferentes espaçamentos de plantio de *Tachigali vulgaris*. Letras diferentes indicam diferença significativa de acordo com o teste post-hoc com correção de Bonferroni ($p < 0,05$).

Letras inseridas no interior das barras expressam a comparação entre as profundidades para o respectivo espaçamento e atributo, enquanto que as letras na parte superior das barras comparam o teor de nutriente para a mesma profundidade entre os espaçamentos.

DISCUSSÃO

Práticas conservacionistas do solo como o plantio de árvores podem contribuir para melhorar atributos químicos do solo como elevar o pH, aumentar a matéria orgânica ou diminuir cátions trocáveis. Diferentes densidades de plantio de povoamento florestal interferem na absorção de nutriente devido a diversos fatores como a limitação espacial, modificações nas relações hídricas das plantas e/ou alterações na eficiência de absorção (Leite et al., 1998).

No gráfico da PCA observa-se a predominância do atributo químico Al em destaque no espaçamento menos adensado 4 m x 4 m, mostrando-se inversamente proporcional com o pH. Solos com acidez elevada, ou seja, baixos valores de pH, geralmente apresentam elevado teor de Al (Bellote & Neves, 2001; Ronquim, 2010).

Pela ANOVA, observa-se que foram encontrados maiores teores para os atributos químicos no espaçamento intermediário (4 m x 3 m) na maioria das profundidades. Enquanto no maior espaçamento (4 m x 4 m) houve maior teor de Al e Na, assim como nas profundidades que houve diferença estatística para o pH, observando-se maior acidez do solo nesse espaçamento.

No espaçamento menos adensado (4 m x 4 m), por apresentar menor número de árvores, pode ter havido menor deposição de matéria orgânica no solo derivado dos resíduos das plantas. Ademais, foi neste espaçamento que se observou maiores valores de Al, cujo resultado demonstra ser coerente com a menção de que o decréscimo do conteúdo de matéria orgânica acarreta o aumento do Al na solução do solo (Tebaldi et al., 2000).

Quanto ao observado para os resultados encontrados no menor espaçamento (4 m x 2 m), houve valores estatisticamente diferentes para o Ca, K, Mg e Na na maioria das profundidades com relação a pelo menos um dos outros espaçamentos. Conforme mencionado por Rosa et al. (2018), espaçamentos muito adensados podem tornar o solo mais pobre quimicamente devido a maior extração de nutrientes pelo maior número de plantas usadas por unidade de área. Contudo, em outra dimensão, o uso de espaçamentos menores, geralmente, promove maior fechamento das copas, maior queda de folhas e com isso maior formação de liteira (Villa et al., 2016), o que favorece a reciclagem de nutrientes.

Os valores encontrados para o Ca e Mg diminuíram conforme o aumento da profundidade do solo em todos os espaçamentos estudados, o que pode ser atribuído à reciclagem dos nutrientes pelas plantas e ao não-revolvimento do solo (Falleiro et al., 2003). Essa tendência de maior valor para a relação Ca/Mg encontrada na camada superficial do solo também foi observado em um plantio de *T. vulgaris* consorciado com mandioca (Mochiutti et al., 1999).

Para o K, no espaçamento mais adensado (4 m x 2 m) observou-se menor teor desse elemento comparativamente aos outros espaçamentos. Tais resultados estão em acordo com os estudos de Moraes et al. (2008) que encontraram menores valores de K em floresta secundária, com aproximadamente 60-70 anos, seguido de um plantio de 2 m x 2 m e ao se comparar também com o sistema de pastagem abandonada. Segundo esses mesmos autores, o K é um elemento altamente móvel, não é um componente das estruturas das plantas, além de estar preferencialmente relacionado a processos metabólicos.

O teor de P não apresentou diferença estatística nas duas maiores profundidades entre os espaçamentos. Nas duas profundidades mais superficiais, apesar de ter tido diferença estatística, não houve um comportamento em função do espaçamento. Esse resultado pode estar associado à influência de fungos micorrízicos que ocorrem em plantios de *Tachigali vulgaris* (Marinho et al., 2004) alterando a conformação do sistema radicular e a habilidade da planta em aproveitar o P presente normalmente em baixos teores no solo (Mafra et al., 2008). O espaçamento menos adensado (4 m x 4 m) teve menor teor de P nas duas profundidades mais superficiais, o que pode estar ligado a uma maior absorção deste elemento nas árvores do espaçamento mais amplo. No trabalho de Santos et al. (2023), apenas em P a análise de variância indicou efeito significativo de espaçamento nos elementos avaliados na madeira de Tachi-branco, com uma tendência de aumento de concentração com o aumento do espaçamento.

CONCLUSÃO

Em função dos resultados encontrados conclui-se que o espaçamento 4 m x 3 m é o mais apropriado para o plantio de Tachi-branco com a finalidade de recuperação de áreas degradadas conforme observado pelos teores mais elevados encontrados nos atributos químicos benéficos ao solo na maioria das profundidades. Além disso, constatou-se nesse espaçamento menores teores de Al, o que é de interesse no estabelecimento de plantações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barros-Júnior, U. O., Rosário, W. A. S., Lima, M. D. R., Silva, M. O. S., Patrício, E. P. S., Gonçalves, D. A., Bufalino, L., & Protásio, T. P. (2022). Effects of tree spacing and forking on the modification of wood density in a trial plantation of *Tachigali vulgaris* for energy in Amazonia. *Journal of Tropical Forest Science*, 34(1), 11-23. <http://dx.doi.org/10.26525/jtfs2022.34.1.11>.
- Bellote, A. F. J., & Neves, E. J. M. (2001). *Calagem e adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural* (Circular Técnica, No. 54). Colombo: Embrapa Florestas.
- Brienza Júnior, S., Pereira, J. F., Yared, J. A. G., Mourão Júnior, M., Gonçalves, D. A., & Galeão, R. R. (2008). Recuperação de áreas degradadas com base em sistema de produção florestal energético-madeireiro: indicadores de custos, produtividade e renda. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, 4(7), 197-219.
- Buck, G. (2015). *A importância da amostragem e análise do solo* (Informativo de Desenvolvimento Tecnológico, No. 11). Technology Development.
- Carpanezzi, A., Marques, L. C. T., & Kanashiro, M. (1983). *Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-da-terra-firme (Sclerolobium paniculatum Vogel)* (Circular Técnica, No. 8, 10 p.). Curitiba: EMBRAPA-URPFCS.
- Carvalho, P. E. R. (2005). *Taxi-Branco* (Circular Técnica, No. 111). Colombo: Embrapa Florestas.
- Castro, A. W. V., Farias Neto, J. T., & Cavalcante, E. S. (1998). Efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). *Acta Amazonica*, 28(2), 141-146. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43921998282146>.
- Dias, L. E., Brienza Junior, S., & Pereira, C. A. (1993). Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma leguminosa arbórea nativa da Amazônia com potencial para recuperação de áreas degradadas. In M. Kanashiro, & J. A. Parrota (Eds.), *Anais do Simpósio sobre Manejo e Reabilitação de Áreas Degradadas e Florestas Secundárias na Amazônia* (pp. 148-153). Rio Piedras, Puerto Rico, USA: International Institute of Tropical Forestry/USDA – Forest Service.
- Dias, L. E., Jucksch, I., Alvares, V. H., Barros, N. F., & Brienza Junior, S. (1992). Formação de mudas de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): II. Resposta a nitrogênio, potássio e enxofre. *Revista Árvore*, 16(2), 135-143.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2009). *Florestas energéticas: Inovação para Sustentabilidade* (12 p.). Brasília: EMBRAPA.
- Falleiro, R. M., Souza, C. M., Silva, C. S. W., Sedyiyama, C. S., Silva, A. A., & Fagundes, J. L. (2003). Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27(6), 1097-1104. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600014>.
- Franco, A. A., Campello, E. F. C., Dias, L. E., & Faria, S. M. (1996). *Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas-PA* (Documentos, No. 27). Itaguaí: Embrapa-CNPAB.
- Kassambara, A. (2023). *rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests. R package version 0.7.2*. Recuperado em 1 de dezembro de 2020, de <https://CRAN.R-project.org/package=rstatix>
- Leite, F. P., Barros, N. F., Novais, R. F., & Fabres, A. S. (1998). Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidades populacionais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22(3), 419-426. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000300007>.
- Lima, M. D. R., Moraes, L. G., Silva, R. C. C., Barros Junior, U. O., Bufalino, L., Soares, A. A. V., Assis-Pereira, G., Gonçalves, D. A., Tomazello Filho, M., & Protásio, T. P. (2023). *Tachigali vulgaris* energy forests: understanding spacing, age, and stem type effects on tree growth patterns and wood density. *New Forests*, 54(3), 491-513. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-022-09932-y>.
- Lima, R. M. B. (2004). *Crescimento do Sclerolobium paniculatum Vogel na Amazônia, em função de fatores de clima e solo* (Tese de doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Mafra, A. L., Guedes, S. F. F., Klauberg Filho, O., Santos, J. C. P., Almeida, J. A., & Rosa, J. D. (2008). Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. *Revista Árvore*, 32(2), 217-224. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000200004>.

- Marinho, N. F., Caproni, A. L., Franco, A. A., & Berbara, R. L. L. (2004). Respostas de *Acacia mangium* Willd e *Sclerolobium paniculatum* Vogel a fungos micorrízicos arbusculares nativos provenientes de áreas degradadas pela mineração de bauxita na Amazônia. *Acta Botanica Brasílica*, 18(1), 141-149. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062004000100012>.
- Mochiutti, S., Melém Júnior, N. J., Farias Neto, J. T., & Queiroz, J. A. L. (1999). *Taxi-branco (Sclerolobium paniculatum Vogel): Leguminosa arbórea para recuperação de áreas degradadas e abandonadas pela agricultura migratória*. Macapá: Embrapa Amapá.
- Moraes, L. F. D., Campello, E. F. C., Pereira, M. G., & Loss, A. (2008). Características do solo na restauração de áreas degradadas na Reserva Biológica de Poço das Antas, RJ. *Ciência Florestal*, 18(2), 193-206. <http://dx.doi.org/10.5902/19805098457>.
- Moraes, L. G., Lima, M. D. R., Assis-Pereira, G., Almeida, G. D., Vidaurre, G. B., Bufalino, L., Guedes, F. T. P., Tomazello-Filho, M., & Paula, P. T. (2023). Forking and planting spacing impacts on wood density, X-ray density, and heartwood proportion of *Tachigali vulgaris*. *Trees*, 37(5), 1567-1581. <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-023-02443-z>.
- Narducci, T. S., Yared, J. A. G., & Brienza Junior, S. (2020). Regeneração natural do sub-bosque em plantios de Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L.F. Gomes da Silva & H.C. Lima) sob diferentes espaçamentos na Amazônia Brasileira. *Biota Amazônia*, 10(3), 16-21. <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v10n3p16-21>.
- Oliveira, P. O., Martins, W. B. R., Rodrigues, J. I. M., Silva, A. R., Lopes, J. C. A., Lima Neto, J. F., & Schwartz, G. (2022). Are liming and pit size determining for tree species establishment in degraded reas by kaolin mining? *Ecological Engineering*, 178, 106599. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106599>.
- Pará. Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças – SEPOF. (2011). *Estatística municipal. Município: Dom Eliseu* (47 p.). Belém. Recuperado em 1 de dezembro de 2020, de <http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/georeferenciamento/domeliseu.pdf>
- R Core Team. (2023). *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Recuperado em 28 de maio de 2023, de <https://www.R-project.org/>
- Rodrigues, A. B. M., Giuliatti, N. M., & Pereira Júnior, A. (2020). Aplicação de metodologias de recuperação de áreas degradadas nos biomas brasileiros. *Brazilian Applied Science Review*, 4(1), 333-369. <http://dx.doi.org/10.34115/basrv4n1-021>.
- Ronquim, C. C. (2010). *Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais* (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, No. 8). Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite.
- Rosa, S. F., Reinert, D. J., Reichert, J. M., Fleig, F. D., Rodrigues, M., & Gelain, N. S. (2018). Propriedades físicas e químicas de um argissolo sob cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Pampa Gaúcho. *Ciência Florestal*, 28(2), 580-590. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832040>.
- Santos, E. V., Lima, M. D. R., Dantas, K. G. F., Carvalho, F. I. M., Gonçalves, D. A., Silva, A. R., Sun, H., Ferreira, M. J., Bufalino, L., Hein, P. R. G., & Protássio, T. P. (2023). The inorganic composition of *Tachigali vulgaris* wood: implications for bioenergy and nutriente balances of planted forests in the Amazonia. *BioEnergy Research*, <http://dx.doi.org/10.1007/s12155-023-10679-3>.
- Signorell, A. (2023). *DescTools: tools for descriptive statistics. R package version 0.99.50*. Recuperado em 28 de maio de 2023, de <https://CRAN.R-project.org/package=DescTools>
- Silva, F. C., Eira, P. A., Barreto, W. O., Pérez, D. V., & Silva, C. A. (1998). Manual de métodos de análises químicas para avaliação de fertilidade do solo (Documentos, No. 3). Rio de Janeiro: EMBRAPA CNPS.
- Silva, M. O. S., Silva, M. G., Bufalino, L., Assis, M. R., Gonçalves, D. A., Trugilho, P. F., & Protásio, T. P. (2021). Variations in productivity and wood properties of Amazonian tachi-branco trees planted at different spacings for bioenergy purposes. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 211-224. <http://dx.doi.org/10.1007/s11676-019-01068-8>.
- Sousa, V. G. (2011). *Comportamento silvicultural e dinâmica de serapilheira em plantios de duas espécies florestais na Amazônia oriental brasileira* (Dissertação de mestrado). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- Sousa, V. G., Brienza Junior, S., Barbosa, M. G., Martorano, L. M., & Silva, V. C. (2016). *Taxi-branco (Tachigali vulgaris L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima): botânica, ecologia e silvicultura* (Documentos, No. 426). Belém: mbrapa Amazônia Oriental.
- Souza, C. R., Azevedo, C. P., Lima, R. M. B., & Rossi, L. M. B. (2008). *Espécies florestais para produção de energia* (Circular Técnica, No. 31). Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental.
- Tebaldi, F. L. H., Silva, J. F. C., Maldonado Vasquez, H., & Thiebaut, J. T. L. (2000). Composição mineral das pastagens das regiões norte e noroeste do Estado do Rio de Janeiro. 3. Matéria Orgânica, Alumínio e pH dos solos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(2), 382-386. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982000000200009>.

- Tomaselli, I., Marques, L. C. T., Carpanezzi, A. A., & Pereira, J. C. D. (1983). Caracterização da madeira de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerobium paniculatum* Vogel). *Boletim de Pesquisa Florestal*, 1(6-7), 26-32.
- Villa, E. B., Pereira, M. G., Alonso, J. M., Beutler, S. J., & Leles, P. S. S. (2016). Aporte de serrapilheira e nutrientes em área de restauração florestal com diferentes espaçamentos de plantio. *Floresta e Ambiente*, 23(1), 90-99. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.067513>.

Contribuição dos Autores: TSN: Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição, Conceituação, Curadoria de Dados, Investigação, Visualização; JAGY: Escrita – Revisão e Edição, Conceituação, Metodologia, Supervisão, Validação; SBJ: Obtenção de Financiamento, Metodologia, Administração do Projeto, Recursos, Supervisão; NJMJ: Metodologia, Software, Validação, Visualização; SSC: Curadoria de Dados, Investigação, Visualização; VGS: Curadoria de Dados, Administração do Projeto, Recursos.