

ARTIGO ORIGINAL

Efeito da transposição de *topsoil* e *mulching* de *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E.Moore na revegetação de área degradada na Caatinga

Effect of transposition of *topsoil* and *mulching* of the brazilian palm tree *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E.Moore on revegetation of degraded area in Caatinga

Mailson Pereira de Souza¹ , Guilherme Montandon Chaer² , Fernando Lima Aires Gonçalves³ 

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRJ, Seropédica, RJ, Brasil

²Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ, Brasil

³Soluções em Meio Ambiente – INOCAS, São Paulo, SP, Brasil

Como citar: Souza, M. P., Chaer, G. M., & Gonçalves, F. L. A. (2022). Efeito da transposição de *topsoil* e *mulching* de *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E.Moore na revegetação de área degradada na Caatinga. *Scientia Forestalis*, 50, e3923. <https://doi.org/10.18671/scifor.v50.39>

Resumo

A mineração de piçarra ocorre em inúmeras pequenas jazidas no estado do Rio Grande do Norte para atender às atividades de produção de petróleo em terra. Ao final do ciclo de exploração, as jazidas devem sofrer intervenções para a retificar e revegetar a paisagem. Nesse estudo foi avaliada a eficiência de técnicas de revegetação de uma área degradada por exploração de piçarra localizada em ambiente de caatinga no município de Pendências, RN. Em um delineamento em esquema de parcelas subdivididas foi avaliado o efeito da aplicação de *topsoil* (com e sem *topsoil*) em parcelas; e do plantio de mudas, em subparcelas, conforme os seguintes tratamentos: sem plantio de mudas (controle); plantio de 15 espécies arbóreas nativas e plantio das 15 espécies com aplicação de *mulch* à base de bagana de carnaúba - resíduo da extração de cera das folhas de *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E.Moore (Arecaceae) - na coroa das plantas. Foram realizadas avaliações biométricas aos seis, 13 e 23 meses após o plantio. Das 15 espécies avaliadas, *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (jurema-preta), *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. (sabiá), *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (orelha-de-macaco), *Piptadenia retusa* (Jacq.) P.G. Ribeiro, Seigler & Ebinger (jurema-branca), *Erythrina velutina* Willd. (mulungu), *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis, *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. (pinhão-mansão) e *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore (caraibeira) apresentaram superioridade pela alta sobrevivência e crescimento, indicando aptidão para serem utilizadas na revegetação de áreas degradadas por extração de piçarra. A adição de *topsoil* sobre o substrato degradado não interferiu na taxa de sobrevivência ou na altura das plantas. O *topsoil*, porém, promoveu uma maior cobertura do solo com vegetação (75% a 100% de cobertura vs. 5% a 25% no tratamento controle; $p < 0,05$) e maior riqueza de espécies herbáceas regenerantes (44 espécies vs. 35 espécies no controle). O *mulching* de bagana de carnaúba promoveu maior crescimento das espécies arbóreas aos 13 meses quando na presença de *topsoil*, com um aumento significativo da altura (113 cm de altura média vs. 93 cm no controle; $p < 0,05$) e da área de copa das plantas aos 23 meses (0,30 m² de diâmetro vs 0,20 m²; $p < 0,05$). Os resultados indicam que a combinação da aplicação de *topsoil*, do plantio de mudas de espécies selecionadas e do uso de *mulching* na coroa das mudas é uma estratégia eficiente para a revegetação de áreas degradadas por mineração na Caatinga.

Palavras-chave: Recuperação de áreas degradadas; Semiárido; Mineração de piçarra; Remoção de horizonte superficial.

Fonte de financiamento: Este trabalho foi financiado pelo Termo de Cooperação no 0050.0098775.15.9, celebrado entre a Petrobras, Embrapa e a Fundação de Apoio à Pesquisa – FAPED – e contou com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: mailsonflorasertao@gmail.com

Recebido: 4 junho 2022.

Aceito: 22 agosto 2022.

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.

Abstract

The piçarra -gravel- mining (subsoil material composed mainly of silt, sand and gravel) takes place in numerous small deposits in Rio Grande do Norte State in order to meet the activities of onshore oil production. At the end of the exploration cycle, the deposits must undergo interventions to rectify and revegetate the landscape. In this study, the efficiency of revegetation techniques was evaluated in an area degraded by piçarra exploitation, located in the municipality of Pendências-RN, in the Tropical Dry Forest (Caatinga). In a split-plot experiment, the effect of topsoil application (in plots), and planting of seedlings (split plots) was evaluated according to the following treatments: T1 – without planting of seedlings (control); T2 – planting of 15 native tree species and T3 – planting of the 15 species with the application of mulch of the Brazilian palm tree *Copernicia prunifera* (Mill.) at the base of the plants. Biometric evaluations were performed at 6, 13 and 23 months after planting. Of the 15 species evaluated, *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir, *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, *Piptadenia retusa* (Jacq.) P.G. Ribeiro, Seigler & Ebinger, *Erythrina velutina* Willd, *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis, *Jatropha molissima* (Pohl) Baill. and *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore stood out for their high survival and growth, indicating suitability for the use in the rehabilitation of areas degraded by piçarra – gravel- extraction. The addition of topsoil to the degraded substrate did not affect the survival rate or plant height. Topsoil, however, promoted better vegetation cover (75% a 100% of coverage vs. 5% to 25% in the control treatment; $p<0.05$), and greater biodiversity of regenerating herbaceous species. Mulching promoted greater growth of tree species at 13 months when in the presence of topsoil (113 cm average height vs. 93 cm in the control; $p<0.05$), and the canopy area of the plants at 23 months (0.30 m² in diameter vs 0.20 m²; $p<0.05$). The results indicate that the combination of topsoil application, planting of seedlings of selected species and application of mulching to the base of tree seedlings is an efficient strategy for the recovery of areas degraded by mining in the Caatinga.

Keywords: Recovery of degraded areas; Semiarid; Gravel mining; Surface horizon removal.

INTRODUÇÃO

No estado do Rio Grande do Norte (RN), a atividade de extração de piçarra (material de subsolo composto principalmente por silte, areia e cascalho) ocorre em inúmeras pequenas jazidas para atender a construção de estradas de acesso e embasamentos para a instalação de estruturas utilizadas para a exploração e produção de petróleo e gás em terra. A exploração da piçarra promove profundas mudanças na paisagem, que vão desde a remoção de toda a vegetação à escavação do subsolo a profundidades que variam de 2 a 15 m em cavas abertas (Resende & Chaer, 2021).

Ao final do ciclo de exploração, as jazidas de piçarra devem passar por um processo de reabilitação, visando reestabelecer um nível de funcionamento do ecossistema para a provisão renovada e continuada de serviços ecossistêmicos (Gann et al., 2019). O processo de reabilitação pode envolver etapas de ordenamento físico da paisagem para regularização dos fluxos d'água, a descompactação e melhoria das condições físicas do substrato e a reintrodução assistida de vegetação nativa por meio do plantio de mudas, sementes e/ou aplicação de solo superficial (*topsoil*) (Chaer et al., 2021). Entretanto, a revegetação dessas áreas mineradas mostra-se um grande desafio, tanto pelas restrições impostas pela condição de degradação dessas áreas quanto pelo clima semiárido da região, com pluviosidade baixa (400 a 700 mm/ano) e bastante irregular.

Para a recuperação de ambientes que sofreram alterações extremas, a exemplo de áreas mineradas, é necessário primeiramente, testar e definir um conjunto mínimo de espécies nativas que sejam capazes de se adaptar e desenvolver sob as condições da área degradada, de modo a promoverem o rápido recobrimento e proteção do solo (Resende et al., 2013). Uma alternativa é a transposição de *topsoil*, que permite repor parte da camada de solo fértil do banco de sementes removido durante o processo de exploração mineral (Mukhopadhyay et al., 2014). Ambas as estratégias, plantio de mudas e transposição de *topsoil*, podem ser implementadas conjuntamente, visando acelerar o recobrimento do solo e garantir uma comunidade vegetal biodiversa e resiliente (Chaer et al., 2021).

O primeiro trabalho objetivando a seleção de espécies vegetais nativas e exóticas para o reflorestamento de jazidas de piçarra em ambiente de Caatinga foi realizado por Lima et al. (2015). Nesse estudo, realizado em cinco jazidas de piçarra do RN, foram testadas 20 espécies arbóreas, sendo 13 pertencentes à flora da Caatinga e outras sete, espécies exóticas. Após 20 meses de

monitoramento, sete espécies se sobressaíram pela alta taxa de sobrevivência e crescimento, sendo cinco nativas da Caatinga: *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta), *Mimosa caesalpiniiifolia* (sabiá), *Vachellia farnesiana* (acácia-farnesiana), *Libidibia ferrea* (pau-ferro) e *Tabebuia aurea* (caraibeira). Também foi observado nesse estudo que a aplicação de *topsoil* nas áreas permitiu o rápido recobrimento do substrato com vegetação herbácea, embora a matocompetição intensa desta vegetação herbácea tenha reduzido a taxa de sobrevivência e de crescimento das espécies arbóreas introduzidas, especialmente daquelas de ritmo de crescimento mais lento.

A competição exercida pela vegetação herbácea regenerante em áreas que receberam *topsoil* sobre árvores jovens introduzidas pelo plantio de mudas, pode potencialmente ser controlada pelo uso de *mulching* (ou *mulch*), uma técnica de recobrimento do solo com materiais naturais (ex., folhas, palha, serragem, composto etc.) ou artificiais (ex., papelão, filme plástico etc.), usado tanto para o controle de plantas indesejáveis e pragas quanto para a conservação da umidade no solo, redução das variações de temperatura e melhoria da qualidade do solo (Sousa et al., 2016; Ferreira et al., 2018; Gonçalves et al., 2020). Nesse contexto, a bagana de carnaúba, resíduo derivado da extração da cera das folhas da palmeira carnaúba - *Copernicia prunifera* (Mill.) H.E.Moore (Arecaceae) -, pode ser uma alternativa para uso como *mulching* em reflorestamentos de áreas degradadas na região.

Nesse estudo foi comparado o estabelecimento (crescimento e sobrevivência) de 15 espécies arbóreas nativas plantadas em áreas que receberam ou não *topsoil* em área total e *mulching* de bagana de carnaúba na coroa de mudas plantadas em uma jazida de piçarra com operação encerrada, localizada em ambiente de Caatinga no estado do Rio Grande do Norte. Desse modo, os objetivos do trabalho foram: (1) avaliar se o uso do *mulching*, quando na presença do *topsoil*, reduz a matocompetição sobre espécies arbóreas introduzidas através do plantio de mudas; (2) definir práticas que proporcionem maior cobertura do solo e maior diversidade de plantas e (3) indicar espécies arbóreas mais aptas para revegetação de jazidas de piçarra. Foi hipotetizado que a aplicação do *mulching*, em concomitância à aplicação de *topsoil*, promove o melhor desenvolvimento das espécies arbóreas plantadas e maiores taxas de cobertura do solo e riqueza de espécies vegetais nativas.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O local de estudo está inserido em área de atuação da Unidade de Operações de Exploração e Produção do Rio Grande do Norte e Ceará (UO-RNCE/PETROBRAS), situado na bacia Potiguar, estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Uma jazida de piçarra descomissionada, localizada no município de Pendências-RN (5° S; 36° W), foi selecionada para o estudo. Durante o processo de exploração, a área teve a vegetação e as camadas de solo superficial removidas, seguido da escavação para a retirada da piçarra em uma cava com profundidade variando entre 2 e 3 m, em uma área total de aproximadamente 2 ha.

O clima da região é do tipo BSw_h, caracterizado como quente e seco, com estação chuvosa de janeiro a maio e estação seca, de junho a dezembro. A temperatura média anual é de 27,4 °C, apresentando precipitação anual média de 673 mm (Alvares et al., 2013), concentrada de janeiro a maio, e com estação seca (sem pluviosidade) de sete a oito meses.

Montagem do experimento

O experimento foi instalado em maio de 2018 em um delineamento em esquema de parcelas subdivididas, com duas repetições. Cada parcela experimental foi constituída de uma área homogênea de 25 m x 20 m (Figura 1). O tratamento com *topsoil* foi aplicado em nível de parcela, com a aplicação de 40 m³ de *topsoil* por parcela, distribuído com trator de esteira, o que resultou em uma camada sob a superfície do solo de aproximadamente 8 cm. O *topsoil* utilizado foi proveniente da abertura recente de nova locação de poço petrolífero nas intermediações da jazida em área contendo originalmente com tipo vegetacional de caatinga arbustiva-arbórea densa (Velloso et al., 2002).

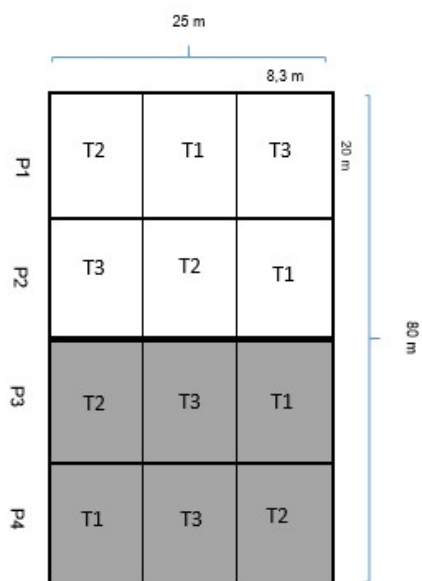


Figura 1 – Croqui da área experimental mostrando o delineamento em parcelas subdivididas, onde: área branca (P1 e P2): sem *topsoil*; área hachurada (P3 e P4): com *topsoil*; T1: sem plantio de mudas de árvores; T2: com plantio de mudas e T3: com plantio de mudas e aplicação de *mulch* de bagana de carnaúba.

Cada parcela foi subdividida em três subparcelas de 8,3 m x 20 m para receber os seguintes tratamentos: T1 – sem plantio de mudas; T2 – plantio de mudas; T3 – plantio de mudas com aplicação de *mulch* de bagana de carnaúba (Figura 1). A bagana foi aplicada na quantidade de 10 L de material, distribuído em um raio de aproximadamente 30 cm formando uma coroa em cada planta.

Nas subparcelas com plantio de mudas, 15 espécies arbóreas nativas da Caatinga foram plantadas em espaçamento de 2 m x 2 m, totalizando 40 mudas por subparcela (2 a 3 mudas/espécie) (Tabela 1). O critério de seleção das espécies utilizadas foi a disponibilidade de mudas arbóreas nativas em viveiros comerciais da região na época da montagem do experimento.

Anteriormente ao plantio, as covas (30 cm x 30 cm x 30 cm) receberam 1,5 L de composto orgânico, 10 g de FTE BR12 (coquetel de micronutrientes, composto por Mo, B, Zn, Cu e Mn) e 1 L de hidrogel (*copolímero poliacrílico de potássio poliácridamida).

Tabela 1 – Nome científico, nome comum e família do conjunto de 15 espécies arbóreas nativas da Caatinga plantadas em jazida de piçarra em Pendências, RN.

Nome científico	Nome comum	Família
<i>Myracrodruon urundeuva</i> M. Allemão	aroeira	Anacardiaceae
<i>Spondias tuberosa</i> Arruda	umbu	Anacardiaceae
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	caraibeira	Bignoniaceae
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill	pinhão-manso	Euphorbiaceae
<i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) Gagnon & G.P. Lewis	catingueira	Fabaceae
<i>Erythrina velutina</i> Willd	mulungu	Fabaceae
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	orelha-de-macaco	Fabaceae
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	jatobá	Fabaceae
<i>Mimosa caesalpinhiifolia</i> Benth	sabiá	Fabaceae
<i>Mimosa laticifera</i> Rizzini & A.Mattos	unha-de-gato	Fabaceae
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir	jurema-preta	Fabaceae
<i>Parkinsonia aculeata</i> L	turco	Fabaceae
<i>Piptadenia retusa</i> (Jacq.) P.G.Ribeiro, Seigler & Ebinger	jurema-branca	Fabaceae
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	catanduva	Fabaceae
<i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.-Hil., Juss. & Cambess.) A.Robyns	imbiratanha	Malvaceae

Monitoramento das espécies arbóreas e taxa de cobertura da regeneração natural

Foram realizadas avaliações biométricas das plantas ao final da estação seca do mesmo ano do plantio (novembro de 2018, seis meses após o plantio) e no final da estação chuvosa dos dois anos posteriores (julho de 2019 e abril de 2020, ou seja, aos 13 e 23 meses após o plantio). As variáveis mensuradas em campo foram: o número de plantas vivas, a altura total (AT) e o diâmetro de copa das mudas de cada espécie plantada individualmente. O diâmetro de copa, expresso em metros, foi mensurado tanto na direção correspondente ao maior diâmetro (D1) e na direção perpendicular a esta (D2) para o cálculo da área de copa (AC), utilizando a fórmula da área da elipse (Equação 1):

$$AC (m^2) = \pi * \left(\frac{D1}{100}\right) * \left(\frac{D2}{100}\right) / 2 \quad (1)$$

A partir dos dados de altura, foi calculada a taxa de crescimento em altura (TCA), expressa em cm/mês, conforme a equação abaixo (Equação 2):

$$TCA (cm/mês) = \left(\frac{Altura\ média\ final\ (cm) - Altura\ média\ inicial(cm)}{N^o\ de\ dias\ desde\ a\ primeira\ medição} \right) \times 30 \quad (2)$$

Por fim, foi calculada a taxa de sobrevivência das plantas (TS), expressa em percentual, por meio da seguinte equação (Equação 3):

$$TS (\%) = 100 - \left[\left(\frac{N^o\ de\ mudas\ vivas}{N^o\ de\ mudas\ plantadas} \right) \times 100 \right] \quad (3)$$

Para a avaliação da taxa de cobertura e regeneração natural (análise fitossociológica da regeneração natural e sua estrutura horizontal) foram considerados apenas os tratamentos aplicados nas parcelas (aplicação ou não de *topsoil*), uma vez que não houve efeito dos plantios de mudas sobre essas variáveis.

A avaliação da taxa de cobertura foi realizada ao final do 24º mês após o plantio, com a quantificação do percentual de recobrimento dos indivíduos de porte herbáceo, arbustivo e arbóreo. A cobertura foi determinada de acordo com a escala de Braun-Blanquet (1964). A escala de Braun-Blanquet (1964) é uma medida subjetiva que estima visualmente a cobertura de cada espécie em valores percentuais, onde 1 refere-se a cobertura menor que 5%; 2, a cobertura entre 5% e 25%; 3, entre 25% e 50%; 4, entre 50% e 75%; e 5 a cobertura entre 75% a 100%. Assim, atribuiu-se uma nota da escala a cada táxon identificado, a qual possui um valor de cobertura média associado, expresso em porcentagem da área ocupada dentro de cada parcela.

O registro fotográfico do material botânico foi feito para todos os indivíduos amostrados em campo para posterior identificação e classificação realizada com auxílio de especialistas botânicos e consulta à bibliografia. A diversidade de espécies de cada tratamento foi expressa por meio do índice de diversidade de Shannon-Wiener (H').

Análise dos dados

Os valores médios referentes à AT (cm), AC (m²), TCA (cm/mês) e TS (%) obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando um delineamento em parcelas subdivididas e tendo como fontes de variação os fatores *topsoil*, em nível de parcela, e bagana de carnaúba e espécies arbóreas, em nível de subparcelas. A significância entre os níveis dos fatores *topsoil* e bagana de carnaúba e de sua interação foram verificadas por meio do teste F da ANOVA ($p < 0,05$). As análises foram realizadas em ambiente R (R Core Team, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conjunto de 15 espécies arbóreas nativas plantadas na jazida de piçarra apresentou alta taxa de sobrevivência, independentemente do tratamento. Aos 23 MAP, as plantas sob o tratamento com *topsoil* apresentaram de 88% (sem *mulch*) a 90% (com *mulch*) de sobrevivência, enquanto aquelas sob o tratamento sem *topsoil*, independentemente da aplicação de *mulching*, apresentaram 97% de sobrevivência (Tabela 2).

Tabela 2 – Efeito da aplicação de *topsoil* e de *mulching* de bagana de carnaúba sobre a taxa de sobrevivência média (%) do conjunto de 15 espécies arbóreas nativas da Caatinga aos 13 e 23 meses após o plantio (MAP), em jazida de piçarra em Pendências, Rio Grande do Norte.

Tratamentos	Taxa de sobrevivência (%)		
	Com <i>mulch</i>	Sem <i>mulch</i>	Média
----- 13 MAP -----			
Com <i>topsoil</i>	93 Aa	96 Aa	94 A
Sem <i>topsoil</i>	97 Aa	100 Aa	98 A
Média	95 a	98 a	
----- 23 MAP -----			
Com <i>topsoil</i>	90 Aa	88 Aa	89 A
Sem <i>topsoil</i>	97 Aa	97 Aa	97 A
Média	93 a	93 a	

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha (entre com e sem *mulching*) e maiúsculas na coluna (entre com e sem *topsoil*), diferem entre si pelo teste F da análise de variância (p< 0,05).

Quando consideradas as espécies individualmente, *P. moniliformes* (catanduva) e *M. laticifera* (unha-de-gato) tiveram maior mortalidade quando aplicado o *topsoil*, reduzindo de 100% para 63%; e de 88% para 38%, respectivamente, na presença de *topsoil* (Figura 2). *S. tuberosa* (umbu) e *M. laticifera* foram as únicas espécies que apresentaram maior sobrevivência em resposta ao *mulching*, de 50% para 100%; e de 50% para 75%, respectivamente. As demais espécies avaliadas apresentaram taxas elevadas de sobrevivência, independentemente dos tratamentos (Figura 2).

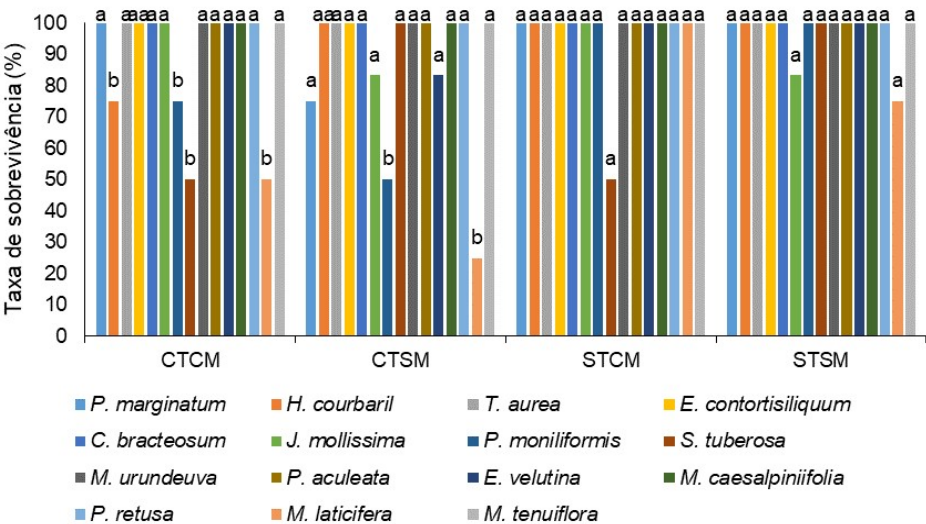


Figura 2 – Taxa de Sobrevivência de 15 espécies arbóreas aos 23 meses após o plantio (MAP), em jazida de extração de piçarra no Rio Grande do Norte. CTCM= com *topsoil* x com *mulch* CTSM= com *topsoil* x sem *mulch*; STCM= sem *topsoil* x com *mulch*; STSM= sem *topsoil* x sem *mulch*. Letras distintas “a” e “b” minúsculas nas barras diferenciam espécies entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, dentro de cada tratamento.

Ambos os fatores estudados - *topsoil* e *mulching* - afetaram significativamente o crescimento das plantas quando considerado o conjunto de espécies. A aplicação do *mulching* com bagana de carnaúba aumentou significativamente a altura média total das plantas, tanto aos 13 quanto aos 23 meses após o plantio. Independentemente da presença de *topsoil*, esse aumento foi de 14% aos 13 meses (92 cm para 105 cm) e de 19% aos 23 meses (99 cm para 118 cm) em plantas que receberam *mulch* (Tabela 2). Em áreas que receberam *topsoil*, na medição realizada aos 13 meses após o plantio (MAP), o efeito do *mulching* foi mais pronunciado, levando a um aumento de 22% na altura das plantas (93 para 113 cm) (Tabela 3).

Tabela 3 – Altura total média, taxa de crescimento média e área da copa média de 15 espécies arbóreas nativas da Caatinga, plantadas em áreas com e sem *topsoil* e com e sem *mulching* de bagana de carnaúba aos 13 e 23 meses após o plantio (MAP).

Trat.	Altura total (cm)			Taxa de crescimento (cm/mês)			Área de copa (m ²)		
	Com <i>mulch</i>	Sem <i>mulch</i>	Média	Com <i>mulch</i>	Sem <i>mulch</i>	Média	Com <i>mulch</i>	Sem <i>mulch</i>	Média
----- 13 MAP -----									
Com <i>topsoil</i>	113 Aa	93 Ab	103 A	4,1 Aa	3,2 Aa	3,7 A	0,28Aa	0,28Aa	0,28A
Sem <i>topsoil</i>	98 Aa	91 Aa	95 A	3,8 Aa	3,1 Aa	3,5 A	0,34Aa	0,30Aa	0,32A
Média	105 a	92 b		3,9 a	3,2 a		0,31 a	0,29 a	
----- 23 MAP -----									
Com <i>topsoil</i>	119 Aa	96 Aa	107 A	2,3 Aa	1,9 Aa	2,1A	0,25Ba	0,24Ba	0,24 B
Sem <i>topsoil</i>	118 Aa	103 Aa	111 A	3,0 Aa	2,2 Aa	2,6A	0,35Aa	0,28Ab	0,31 A
Média	118 a	99 b		2,7 a	2,1 a		0,30 a	0,26 b	

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha (entre com e sem *mulching*) e maiúsculas na coluna (entre com e sem *topsoil*), diferem entre si pelo teste F da análise de variância ($p < 0,05$).

O *mulching* apresentou efeito positivo sobre as variáveis altura total aos 13 MAP ($p < 0,05$). Já aos 23 MAP, também houve efeito positivo sobre as variáveis altura total e área de copa das plantas ($p < 0,05$) que receberam a aplicação do *mulching*. Porém, esse efeito somente foi significativo sobre a variável área de copa das plantas no tratamento sem aplicação do *topsoil*. Nesse caso, o aumento médio observado na área de copa foi de 25% em relação ao tratamento sem *mulching* (Tabela 3).

O tratamento com *topsoil* afetou negativamente a área de copa das árvores aos 23 MAP. Independentemente da aplicação de *mulching*, esse tratamento reduziu a área de copa em aproximadamente 23% (0,30 para 0,26 m²) em relação ao tratamento sem *topsoil* (Tabela 3).

Tabebuia aurea (caraibeira) aumentou a taxa de crescimento em 87% quando aplicado *mulching* e *topsoil* (Figura 3). Ao contrário, *J. mollissima* (pinhão-mansão) e *E. velutina* (mulungu) reduziram a taxa de crescimento quando foi usado *mulching*, embora a primeira tenha sido na ausência e a segunda na presença de *topsoil* (Figura 3). Em relação a variável altura total, verificou-se que algumas espécies sofreram influência dos tratamentos, como a *T. aurea* (caraibeira), que quando aplicado *topsoil* com *mulching* teve um incremento de 78 cm em sua altura em relação ao tratamento sem *mulching*; o mesmo ocorreu nas espécies *E. contortisiliquum* (orelha-de-macaco), *M. caesalpiniiifolia* (sabiá) e *M. laticifera* (unha-de-gato), as quais apresentaram incrementos de 65 cm, 64 cm e 85 cm, respectivamente, em relação ao tratamento sem *mulching* (Figura 3).

A regeneração natural em jazidas de piçarra na Caatinga tratadas apenas com *topsoil* (Lima et al., 2015) após oito anos apresentou uma baixa abundância de indivíduos e baixa riqueza de espécies de porte arbustivo ou arbóreo (dados não publicados). Ao contrário, as áreas do estudo de Lima et al. (2015) que receberam *topsoil* com o concomitante plantio de mudas mostraram uma maior diversidade de plantas e uma fisionomia vegetal mais próxima à da Caatinga natural. Essas observações sugerem que a combinação da aplicação de *topsoil* com o plantio de mudas de espécies arbóreas nativas da Caatinga tem o potencial de promover a reabilitação mais eficiente desses ambientes em longo prazo.

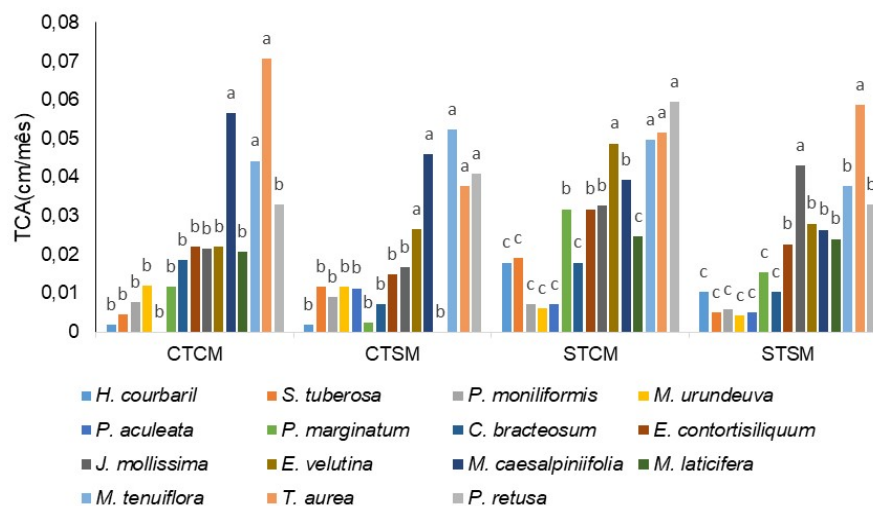


Figura 3 – Taxa de crescimento em altura (TCA) de 15 espécies arbóreas em jazidas de extração de piçarra no Rio Grande do Norte. CTCM = com *topsoil* x com *mulch*; CTSP = com *topsoil* x sem *mulch*; STCM = sem *topsoil* x com *mulch*; STSP = sem *topsoil* x sem *mulch*. Letras distintas “a” e “b” minúsculas nas barras diferenciam espécies entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, dentro de cada tratamento.

O conjunto de resultados apresentados neste trabalho demonstrou que o plantio de mudas, concomitantemente à aplicação de *topsoil* e *mulching* à base de bagana de carnaúba, promoveu a formação de uma cobertura vegetal abundante (75 a 100%) e biodiversa (maior riqueza de espécies), corroborando Lima et al. (2015), em que a aplicação de *topsoil* resultou em abundante regeneração de espécies herbáceas, fato que levou a uma melhor cobertura do substrato da jazida durante o período de chuvas. Ao contrário de Lima et al. (2015), a aplicação de *topsoil* não influenciou significativamente na sobrevivência das árvores plantadas quando avaliadas em conjunto (Tabela 2) e, dentre as variáveis de crescimento mensuradas, causou redução apenas na área de copa das plantas aos 23 MAP (Tabela 3). Não obstante, a presença de *mulching* não atenuou o efeito do *topsoil* sobre a área de copa das árvores, rejeitando a hipótese do uso do *mulching* como controlador de matocompetição.

Uma possível explicação para a ausência de efeito do *topsoil* sobre as espécies arbóreas neste estudo pode estar relacionada à camada de material distribuída na área. Lima et al. (2015) aplicaram uma camada de 20 cm, superior à camada de aproximadamente 8 cm usada nesse estudo. Uma camada mais espessa pode garantir o aporte de uma maior quantidade de sementes e permitir que as plantas desenvolvam suas raízes em um substrato com melhores condições químicas e biológicas. Entretanto, os resultados aqui apresentados demonstraram que a aplicação de uma camada mais delgada de *topsoil* foi suficiente para promover a regeneração natural e cobertura do substrato, sem prejuízo ao crescimento das espécies arbóreas plantadas. Cabe ressaltar ainda que a aplicação de uma camada menor de *topsoil* terá como benefício adicional a redução do custo de transporte e de disponibilidade.

Vários estudos avaliaram o uso de cobertura morta sobre o desenvolvimento de espécies arbóreas. Gonçalves et al. (2020) avaliaram a influência da bagana de carnaúba na sobrevivência e crescimento inicial de três espécies, no qual foi encontrado um percentual global de mudas sobreviventes aos 13 MAP de 58%. Naquele estudo, o tratamento empregando *mulching* de bagana de carnaúba foi o que apresentou melhor resultado, com plantas apresentando 70% de sobrevivência ao final do período avaliado.

A influência positiva da bagana de carnaúba sobre algumas espécies avaliadas pode também estar relacionada à melhor retenção da umidade no substrato, ou ainda, pela liberação de nutrientes para a planta durante sua decomposição (Sousa et al., 2015; Sousa et al., 2016; Araújo et al., 2017). No entanto, estima-se que o possível efeito de liberação de nutrientes seja limitado, dada a aparente baixa mineralização do material observada ao longo do período

monitorado (observação *in loco*). Não obstante, em longo prazo, com a decomposição, poderá ocorrer a liberação gradual dos nutrientes para absorção pelas plantas (Gonçalves et al., 2020).

Dentre o conjunto de 15 espécies avaliadas, aquelas que apresentaram as maiores taxas de crescimento em altura foram *T. aurea*, *M. caesalpinifolia*, *M. tenuiflora* e *P. retusa* (caraibeira, sabiá, jurema-preta, e jurema-branca, respectivamente) enquanto os menores valores ocorreram para *H. coubaril*, *S. tuberosa*, *P. moniliformis*, *M. urundeuva* e *P. aculeata* (jatobá, umbu, catanduva, aroeira e turco, respectivamente) (Figura 2). Dentre as 20 espécies arbóreas avaliadas por Lima et al. (2015), *T. aurea*, *M. caesalpinifolia* e *M. tenuiflora* (caraibeira, sabiá e jurema-preta, respectivamente), igualmente, foram as que mais se destacaram quanto a taxa de crescimento. Naquele estudo não foi avaliada a espécie *P. retusa* (jurema-branca).

A maioria das espécies citadas com alta taxa de crescimento *M. tenuiflora*, *P. retusa* e *M. caesalpinifolia* (jurema-preta, jurema-branca e sabiá, respectivamente) são pertencentes à Fabaceae, com capacidade de fixar nitrogênio em simbiose com rizóbios (Chaer et al., 2011). Ao contrário, dentre as de crescimento lento, a maioria pertence a outras famílias botânicas, à exceção da *P. moniliformis* (Catanduva). A boa adaptação e rápido crescimento em áreas degradadas de várias leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio foi destacado por Chaer et al. (2011). No próprio estudo realizado por Lima et al. (2015) em jazidas de piçarra na mesma região, a sobrevivência e crescimento de 10 leguminosas arbóreas nodulantes foi bastante superior ao de 10 outras espécies não-nodulantes. Portanto, essas espécies têm sido recomendadas para a revegetação de áreas degradadas na Caatinga. Entretanto, outras espécies que apresentam crescimento mais lento, mas altas taxas de sobrevivência, podem também fazer parte do rol de espécies indicadas, promovendo uma maior diversidade e provimento de serviços ecossistêmicos ao ambiente em recuperação.

A taxa média de sobrevivência das espécies arbóreas plantadas nesse estudo é superior àquela encontrada em estudos que avaliaram a recomposição florestal na Caatinga a partir do plantio de mudas em áreas que não sofreram mineração (Figueredo et al., 2012; Lima et al., 2015; Gonçalves et al., 2020). Esse fato pode estar associado à conformação topográfica das jazidas, cuja depressão do terreno favorece um maior acúmulo de água das chuvas e, conseqüentemente, maior umidade no solo em relação ao terreno original. Não diferente, cavas de mineração frequentemente formam lagos temporários ou permanentes em cotas mais baixas do terreno, principalmente quando são formadas cavas profundas no terreno. Esse não é o caso da área de estudo desse trabalho, onde o processo de mineração resultou em uma cava homogênea e relativamente plana. Entretanto, mesmo nessas condições, o substrato pode permanecer relativamente mais úmido em relação ao terreno em cota mais elevada, como naturalmente ocorre em topossequências (Silva et al., 2018). Esse argumento também pode explicar o efeito limitado do *mulching* sobre a sobrevivência das plantas, visto que um dos benefícios potenciais do *mulching* é a maior retenção de umidade no solo.

Regeneração natural

Não houve efeito dos tratamentos aplicados em subparcelas (plantio de mudas e aplicação de *mulch*) sobre as variáveis relacionadas à regeneração natural da vegetação. Portanto, os resultados são apresentados apenas comparando a regeneração nos tratamentos com e sem aplicação de *topsoil*.

No total, foram encontradas 60 espécies e morfoespécies regenerantes nos tratamentos com e sem *topsoil* (Tabela 4). Na presença do *topsoil* foram encontradas 44 espécies. Já no tratamento sem *topsoil*, foram encontradas 35 espécies, sendo 19 delas de ocorrência comum aos dois tratamentos (Tabela 3).

As espécies presentes nos dois tratamentos são em grande maioria pertencentes ao hábito herbáceo (70%), existindo apenas três espécies do estrato arbóreo a saber: *S. tuberosa* (umbu), *J. mollissima* (pinhão-mansão) e *C. pyramidale* (catingueira) (5%), sendo de ocorrência exclusiva no tratamento com aplicação de *topsoil*.

Tabela 4 – Hábito, número de famílias, número de espécies, índice de Shannon (H') e taxa de cobertura do solo da comunidade de plantas regenerantes (Tx. cob.) em jazida de piçarra, 24 meses após a instalação dos tratamentos, com e sem aplicação de *topsoil*.

Trat.	Hábito (%)				Nº de famílias	Nº de espécies	H'	Tx. cob. (%)*
	Erva	Liana	Árvore	Arbusto				
Com <i>topsoil</i>	56,8	11,36	6,81	6,81	11	44	3,37	75 a 100
Sem <i>topsoil</i>	82,8	5,71	2,85	2,85	12	35	3,55	5 a 25

*Escala de Braun-Blanquet (1964).

A riqueza de espécies foi superior no tratamento com *topsoil*; não obstante, o índice de diversidade de Shannon (H') se mostrou similar (Tabela 3).

A baixa regeneração de espécies de porte arbóreo-arbustivo a partir do *topsoil* aplicado também foi observado por Lima et al. (2015). O *topsoil* utilizado em ambos os estudos foi originado de área contendo vegetação nativa de Caatinga, a qual naturalmente apresenta alta diversidade de espécies de porte arbóreo e arbustivo. A razão pela qual indivíduos arbóreos são pouco representativos dentre os regenerantes a partir do *topsoil* pode estar associado ao tratamento prévio. Estudo realizado em região semiárida na Austrália, o *topsoil* armazenado em pilhas de 6 m de comprimento, 1,5 m de largura e 1 m de altura tiveram significativo declínio no banco de sementes após um ano de estocagem, com queda de 68% na viabilidade após dois anos (Golos & Dixon, 2014). Segundo os autores, a maior longevidade do banco de sementes em ambientes áridos ou semiáridos está diretamente relacionada à extensão do período de baixa umidade no solo. Sob solo seco, há menor probabilidade de germinação e de perda de sementes por envelhecimento devido ao umedecimento (Long et al., 2009). A colocação de uma cobertura à prova d'água sobre a pilha do *topsoil* estocado, protegendo-a das chuvas, aumentou em 3,5 vezes a emergência de plantas em comparação à ocorrida a partir de *topsoil* cujas pilhas não foram cobertas (Golos & Dixon, 2014). O *topsoil* utilizado no presente estudo e naquele realizado por Lima et al. (2015), também foram armazenados por período superior a um ano, podendo também ter sofrido redução da viabilidade do banco de sementes, possivelmente favorecendo a abundância relativa de espécies herbáceas. Estudos adicionais devem ser conduzidos para avaliar essa hipótese.

Foi observada uma elevada riqueza de espécies regenerantes no tratamento que recebeu *topsoil* (44 espécies/morfoespécies), mas incluindo apenas três exemplares de espécies arbóreas. A abundante regeneração de plantas herbáceas no tratamento com solo superficial durante o período das chuvas também foi observada por Silva et al. (2015). Segundo esses autores, apesar de não mensurado tal comportamento, mas apenas observado, constatou-se que após as primeiras chuvas, houve um crescimento vigoroso de várias espécies herbáceas, recobrando praticamente 100% do solo. Segundo Araújo et al. (2004), as sementes de espécies herbáceas espontâneas têm a função de ocupar áreas degradadas, reiniciando o processo de sucessão desde os primeiros estádios de colonização. Ferreira et al. (2014) ressaltam que as ervas são as primeiras a se dispersarem, dando origem ao processo inicial de sucessão, criando assim, condições para que ocorra a sucessão com as diferentes formas de vida (arbustiva e arbórea).

No tratamento sem *topsoil* também houve regeneração de 35 espécies/morfoespécies, sendo todas de porte herbáceo, uma riqueza relativamente alta, mas com ocorrência dispersa e pouco abundante na área. O acompanhamento em longo prazo da área permitirá avaliar se na ausência de *topsoil* será possível uma maior colonização do substrato por estas e outras espécies e de forma a recobrir e proteger o substrato.

CONCLUSÕES

A combinação do *topsoil* e do *mulching* se mostrou uma estratégia eficiente para melhoria do processo de revegetação de áreas degradadas por mineração de piçarra na Caatinga.

A deposição de uma camada de *topsoil* de 8 cm de espessura sobre o substrato de uma área degradada por mineração de piçarra promoveu uma melhor cobertura do solo e o

aumento da biodiversidade de espécies herbáceas. Esse tratamento não interferiu significativamente na taxa de sobrevivência da maioria das espécies arbóreas plantadas ou no crescimento em altura; no entanto, originou árvores com menor área de copa aos 23 MAP.

A aplicação de *mulching* à base de bagana de carnaúba na coroa das espécies arbóreas plantadas, na proporção de 10 L/planta e em um raio de 30 cm do coleto, promoveu um maior crescimento médio das plantas.

Das 15 espécies avaliadas no presente estudo, seis destacaram-se pela alta sobrevivência e crescimento. São elas: *M. tenuiflora* (jurema-preta), *P. retusa* (jurema-branca), *M. caesalpiniiifolia* (sabiá), *T. aurea* (caraibeira), *E. contortisiliquum* (orelha-de-macaco) e *C. pyramidale* (catingueira).

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Termo de Cooperação no 0050.0098775.15.9, celebrado entre a Petrobras, Embrapa e a Fundação de Apoio à Pesquisa – FAPED – e contou com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeit*, 22(6), 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Araújo, E. F., Aguiar, A. S., Arauco, A. M. S., Gonçalves, E. O., & Almeida, K. N. S. (2017). Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. *Revista Nativa*, 5(1), 16-23. <http://dx.doi.org/10.5935/2318-7670.v05n01a03>.
- Araújo, M. M., Longhi, S. J., Barros, P. L. C., & Brena, D. A. (2004). Caracterização da chuva de sementes, banco de sementes no solo e banco de plântulas em floresta estacional decidual ripária Cachoeira do Sul, RS, Brasil. *Scientia Forestalis*, 1(66), 128-141.
- Braun-Blanquet, J. (1964). *Pflanzensoziologie, grundzüge der vegetationskunde* (3rd ed.). Berlin: Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-7091-8110-2>.
- Chaer, G. M., Gonçalves, F. L. A., Souza, M. P., Silva, F. F., Lima, K. D. R., Cavalcante, C. R., Campello, E. F. C. C., Cunha, C. F., Araújo, J. E., Fontes, M. A., & Resende, A. S. (2021). Estratégias de recuperação ambiental de áreas de produção de petróleo e gás em terra na Caatinga. In A. S. Resende & G. M. Chaer (Eds.), *Recuperação ambiental em áreas de produção de petróleo e gás em terra na Caatinga* (pp. 40-97). Brasília: Embrapa.
- Chaer, G. M., Resende, A. S., Campello, E. F. C., Faria, S. M., & Boddey, R. M. (2011). Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. *Tree Physiology*, 31(2), 139-149. PMID:21378065. <http://dx.doi.org/10.1093/treephys/tpq116>.
- Ferreira, C. D., Souto, P. C., Lucena, D. S., Sales, F. C. V., & Souto, J. S. (2014). Florística do banco de sementes no solo em diferentes estágios de regeneração natural de Caatinga. *Agrária*, 9(4), 562-569. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v9i4a4497>.
- Ferreira, F. F., Resende, A. S., Santos, T. A., & Chaer, G. M. (2018). Use of cardboard disks for crowning seedlings in reforestation. *Floresta e Ambiente*, 25(1), 201-261.
- Figueredo, J. M., Araújo, J. M., Pereira, O. N., Bakke, I. A., & Bakke, O. A. (2012). Revegetation of degraded Caatinga sites. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(3), 332-343.
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverria, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., & Dixon, K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(1), 1-6. <http://dx.doi.org/10.1111/rec.13035>.
- Golos, P. J., & Dixon, K. W. (2014). Waterproofing topsoil stockpiles minimizes viability decline in the soil seed bank in an arid environment. *Restoration Ecology*, 22(4), 495-501. <http://dx.doi.org/10.1111/rec.12090>.
- Gonçalves, M. P. M., Feliciano, A. L. P., Silva, A. P., Silva, L. B., Silva, K. M., Silva Júnior, F. S., Grugiki, M. A., & Silva, M. I. O. (2020). Desenvolvimento em campo de espécies da Caatinga com o uso de resíduo de carnaúba. *Brazilian Journal of Development*, 6(1), 1188-1200. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n1-083>.

- Lima, K. D. R., Chaer, G. M., Rows, J. R. C., Mendonça, V., & Resende, A. S. (2015). Seleção de espécies arbóreas para revegetação de áreas degradadas por mineração de piçarra na Caatinga. *Revista Caatinga*, 28(1), 203-213.
- Long, R. L., Steadman, K. J., Panetta, F. D., & Adkins, S. W. (2009). Soil type does not affect seed ageing when soil water potential and temperature are controlled. *Plant and Soil*, 320(1-2), 131-140. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-008-9878-8>.
- Mukhopadhyay, S., Maiti, S. K., & Masto, R. E. (2014). Development of mine soil quality index (MSQI) for evaluation of reclamation success: a chronosequence study. *Ecological Engineering*, 71(1), 10-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.001>.
- R Core Team. (2014). *R: a language and environment for statistical computing*. Viena: R Foundation for Statistical Computing.
- Resende, A. S., & Chaer, G. M. (2021). *Recuperação ambiental em áreas de produção de petróleo e gás em terra na Caatinga*. Brasília: Embrapa.
- Resende, A. S., Chaer, G. M., Campello, E. F. C., Silva, A. P., Lima, K. D. R., & Curcio, G. R. (2013). Uso de leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas. In A. P. Araújo & B. J. R. Alves (Eds.), *Tópicos em ciências do solo* (Vol. 8, pp. 71-92). Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Silva, I. A., Campagna, A. R., & Lipp-Nissinen, K. H. (2018). Recuperação de áreas degradadas por mineração: uma revisão de métodos recomendados para garimpos. *Pesquisas em Geociências*, 45(3), e0691. <http://dx.doi.org/10.22456/1807-9806.91386>.
- Silva, K. A., Martins, S. V., Miranda Neto, A., & Campos, W. H. (2015). Semeadura direta com transposição de serapilheira como metodologia de restauração ecológica. *Revista Árvore*, 39(5), 811-820. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500004>.
- Sousa, L. B., Lustosa Filho, J. F., Amorim, S. P. N., Nóbrega, R. S. A., & Nóbrega, J. C. A. (2016). Germinação, crescimento e nodulação natural de *Enterolobium contortisiliquum* em substratos regionais. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 11(4), 345-353.
- Sousa, L. B., Nóbrega, R. S. A., Lustosa Filho, J. F., Amorim, S. P. N., Ferreira, L. V. M., & Nóbrega, J. C. A. (2015). Cultivo de *Sesbania virgata* (Cav. Pers) em diferentes substratos. *Revista de Ciências Agrárias*, 58(3), 240-247.
- Velloso, A. L., Sampaio, E. V. S. B., Giulietti, A. M., Barbosa, M. R. V., Castro, A. A. J. F., Queiroz, L. P., Fernandes, A., Oren, D. C., Cestaro, L. A., Carvalho, A. J. E., Silva, F. B. R., Miranda, E. E., Kheel, S., & Gondim, R. S. (2002). *Ecorregiões – propostas para o bioma da Caatinga*. Recife: Associação Plantas do Nordeste/The Nature Conservancy do Brasil.

Contribuição dos Autores: MPS: Conceituação; Curadoria de Dados; Análise Formal; Escrita – Primeira Redação; GMC: Supervisão; Escrita – Revisão e Edição; FLAG- Curadorias dos dados, Primeira-Redação.