

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS**  
**AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**TESE**

**Estratégias de recuperação de áreas degradadas pela  
exploração e produção de petróleo e gás natural na  
Caatinga**

**Fernando Lima Aires Gonçalves**

**2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**Estratégias de recuperação de áreas degradadas pela exploração e produção de  
petróleo e gás natural na Caatinga**

**FERNANDO LIMA AIRES GONÇALVES**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Guilherme Montandon Chaer**

*e Co-orientação da professora*  
**Gislene Ganade**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2020

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G635e      Gonçalves, Fernando Lima Aires, 1985-  
Estratégias de recuperação de áreas degradadas pela  
exploração e produção de petróleo e gás natural na  
Caatinga / Fernando Lima Aires Gonçalves. -  
Seropédica, 2020.

128 f.: il.

Orientador: Guilherme Montandon Chaer.  
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais e Florestais, 2020.

1. mineração de piçarra. 2. semiárido. 3. seleção de  
espécies nativas. 4. reflorestamento. 5. recuperação  
de áreas mineradas. I. Chaer, Guilherme Montandon,  
1975-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais e Florestais III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**FERNANDO LIMA AIRES GONÇALVES**

Tese submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor, no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

TESE APROVADA EM 21/02/2020

Guilherme Montandon Chaer. Dr. EMBRAPA Agrobiologia  
(Orientador, Presidente da Banca)

Jeferson Luiz Dallabona Dombroski. Dr. UFERSA

Eduardo Francia Carneiro Campello. Dr. EMBRAPA Agrobiologia

Sergio Miana de Faria. Dr. EMBRAPA Agrobiologia

Jerônimo Boelsums Barreto Sansevero. Dr. UFRRJ



Emitido em 21/02/2020

TERMO Nº 452/2020 - PPGCAF (12.28.01.00.00.00.27)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 27/11/2020 08:51 )  
JERONIMO BOELSUMS BARRETO SANSEVERO  
DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.29)  
Matrícula: ###372#1

(Assinado digitalmente em 26/11/2020 18:21 )  
EDUARDO FRANCIA CARNEIRO CAMPELLO  
CPF: ###.###.197-##

(Assinado digitalmente em 02/12/2020 21:37 )  
GUILHERME MONTANDON CHAER  
CPF: ###.###.036-##

(Assinado digitalmente em 01/12/2020 13:53 )  
JEFERSON LUIZ DALLABONA DOMBROSKI  
CPF: ###.###.991-##

(Assinado digitalmente em 04/12/2020 14:06)  
SERGIO MIANA DE FARIA  
CPF: ###.###.127-##

Visualize o documento original em  
<https://sipac.ufrj.br/documentos/> informando seu  
número: 452, ano: 2020, tipo

## DEDICATÓRIA

*A minha família, que me proporcionou  
chegar até esse momento.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada disso seria possível.

Agradeço aos meus pais, Maria José e Imídio que sempre me apoiaram em todas as decisões e estiveram sempre ao meu lado possibilitando alcançar mais essa etapa na minha vida com todo suporte necessário que precisei durante meu doutorado. Amo vocês.

Agradeço também as minhas irmãs (Fernanda, Flávia e Fabiana) que me apoiaram e sempre me fizeram sentir orgulhoso. Obrigado pelas palavras de carinho durante todo esse período. Amo vocês, minhas irmãs guerreiras.

Agradeço aos meus sobrinhos (Murilo, Mirella, Miguel e Lavínia) que foram fontes de descontração, alegria e força durante todo o período do doutorado e que continuam sendo. Padrinho/titio ama muito vocês.

Agradeço a minha tia querida Maria Inês pelas constates orações mesmo estando longe, desde o meu início na graduação longe do meu berço materno até a conclusão desse doutorado.

Agradeço ao meu tio Carlos Milton por ser minha família mais próxima aqui no Rio de Janeiro e sempre me apoiar desde a graduação até a conclusão desse doutorado.

Agradeço ao meu tio João Guerreiro e família por toda a torcida e ajuda desde o início da minha caminhada ainda na graduação até o meu doutorado.

Agradeço a minha querida tia Maria Cristina (*in memorian*) que me proporcionou tantas alegrias com a imensa ajuda que me deu durante a graduação e que proporcionou-me chegar onde estou hoje. Te amo minha querida tia, esse título também é seu.

Agradeço aos demais familiares que não foram citados aqui, mas que de certa forma sempre estiveram torcendo por mim, inclusive meus cunhados rrsrsrs.

Agradeço ao meu orientador Guilherme Chaer pela paciência, compreensão, ensinamentos e amizade durante todo o momento que necessitei.

Agradeço a UFRN, em especial a Gislene Ganade por ter aceitado ser minha co-orientadora durante o doutorado.

Agradeço ao pessoal do CENPES, em especial ao coordenador do projeto Frederico Machado, que sempre foi solícito em tudo que precisei durante o meu doutorado, sendo figura muito importante para a conclusão desse curso.

Agradeço ao pessoal da Petrobras e empresas terceirizadas que fizeram e ainda fazem parte do projeto no RN, em especial a Cid Cavalcanti que foi um parceiro tremendo no desenvolvimento das atividades do meu doutorado.

Agradeço a UFERSA pelo apoio no projeto, principalmente ao Vavá, pessoa querida e que foi peça fundamental no desenvolvimento de todo o meu doutorado.

Agradeço a FLONA de Assu-RN, em especial ao chefe Mauro por todo apoio logístico para a realização das atividades.

Agradeço a Embrapa Agrobiologia, em especial aos membros do laboratório de leguminosas (pesquisadores, técnicos e alunos) que me ajudaram durante todo o curso em tudo o que precisei.

Um agradecimento especial a Telmo Félix (*in memorian*) por tudo que me ensinou durante o período em que trabalhamos juntos. Pode ter certeza de que esses ensinamentos que levo para a vida me ajudaram muito durante meu doutorado.

Agradeço ao meu amigo Carlos Fernando (famoso pastor) por toda a amizade e grande ajuda durante todo o meu doutorado.

Agradeço aos funcionários que me ajudaram nas atividades de campo representados aqui pelo Josias Jerônimo. Sem eles não teria conseguido concluir essa jornada.

Agradeço a dona Francisquinha e seu Nenel (*in memorian*) pelo ótimo café e bate papo aos finais de tarde em Assu-RN.

Agradeço também a Gilberto Terra por todo o empenho na identificação do material botânico da minha tese.

Agradeço ao meu amigo Jhone Lopes por ter me ajudado a aliviar todo o meu estresse nas aulas de musculação e treinos funcionais na academia, mantendo *mens sana in corpore sano*, fundamentais para que eu pudesse chegar ao final desta jornada.

Agradeço a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais (PPGCAF/UFRRJ) e aos professores do Departamento de Silvicultura da UFRRJ, pela enorme contribuição em minha formação acadêmica e pessoal.

Agradeço também ao meu grande amigo Felipe Martini (Fuleeeeeiro) pela amizade e por ter me ajudado com a estatística do meu trabalho.

E agradeço a todos os meus amigos que me ajudaram de maneira direta ou indireta a vencer essa etapa importantíssima da minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO GERAL

GONÇALVES, Fernando Lima Aires, **Estratégias de recuperação de áreas degradadas pela exploração e produção de petróleo e gás natural na Caatinga**. 2020. Tese (Doutorado em Ciências Florestais e Ambientais). Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

Muitas das alterações causadas no Bioma da Caatinga são causadas pela exploração de madeira nativa para lenha e práticas agrícolas intensivas. Além da atividade extrativista e agrícola, a atividade de exploração mineral também é causadora de grandes impactos sobre o bioma. Um exemplo relevante é a exploração de piçarra, tipo de cascalho usado abundantemente em aterros de estradas e estruturas ligadas à atividade de produção e exploração de petróleo e gás natural em terra. A exploração envolve a supressão de toda a vegetação e a escavação do solo a profundidades que variam entre 2 a 15 m para retirada da piçarra e, ao final, as jazidas devem passar por etapas de recuperação. Estudos prévios mostraram que é possível obter sucesso na restauração funcional desses ambientes. No entanto, é necessário avançar em diversas frentes, como na identificação de espécies nativas e naturalizadas capazes de colonizar as áreas impactadas, na identificação de novas técnicas de plantio que auxiliem as plantas recém introduzidas a sobreviverem a períodos de estiagem, no estudo da eficiência de diferentes arranjos de plantio, dentre vários outros aspectos. Para tanto, essa tese está dividida em três capítulos e teve como objetivo geral avaliar a eficiência de diferentes estratégias de recuperação de áreas degradadas pela exploração e produção de petróleo e gás natural na Caatinga. O primeiro capítulo avaliou a sobrevivência e desenvolvimento de 33 espécies arbóreas nativas e naturalizadas da Caatinga em áreas degradadas contendo diferentes tipos de substrato. Assim, foi iniciado um experimento em junho de 2017 em delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas com quatro repetições (locais). As 33 espécies foram estabelecidas em parcelas (27 indivíduos por espécie por parcela) e dois tratamentos (T1: coroamento com palha de carnaúba e T2: controle) em parcelas subdivididas. Metade das espécies estudadas foram classificadas com alta e muito alta aptidão para plantios de restauração, de acordo com índices de restauração e conservação calculados, e recomendadas para o reflorestamento das áreas degradadas. O segundo capítulo avaliou o potencial de utilização de diferentes composições de plantios e diferentes arranjos de espécies arbóreas como estratégias de recuperação. Um experimento foi montado em delineamento experimental em blocos casualizados com quatro tratamentos e quatro repetições (T1 – controle; T2 – plantio de espécies de preenchimento misturadas com espécies de diversidade; T3 – linha de espécies de preenchimento com juremas, intercaladas com linhas de espécies de diversidade; T4 – semelhante a T3, mas com podas anuais das juremas). Os resultados mostraram que o plantio de espécies arbóreas, independente do arranjo ou manejo de podas, promove um rápido recobrimento do solo com alto grau de sobrevivência das plantas introduzidas. Entretanto, o maior adensamento no tratamento T3 de espécies de recobrimento pode prejudicar em longo prazo o desenvolvimento das demais espécies. Por fim, o terceiro capítulo avaliou diferentes técnicas visando aumentar a sobrevivência de plantas recém-introduzidas em período de estiagem. Para essas avaliações foi instalado um experimento em blocos casualizados em esquema fatorial com três fatores com dois níveis cada, a saber: (1) tipo de muda: comum ou com sistema radicular alongado; (2) cobertura morta: com ou sem palha de carnaúba e (3) forma de irrigação: com aplicação de água ou hidrogel na cova de plantio. Os resultados mostram que os fatores testados proporcionaram resultados variados a depender da espécie e das características que foram avaliadas nas condições desse experimento.

**Palavras-chave:** mineração de piçarra; reflorestamento; semiárido; seleção de espécies nativas.

## GENERAL ABSTRACT

GONÇALVES, Fernando Lima Aires, **Recovery strategies for areas degraded by the exploration and production of oil and natural gas in the Caatinga**. 2020. Thesis (Doctorate in Forestry and Environmental Sciences). Institute of Forests, Department of Forestry, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

Many of the changes caused in the Caatinga Biome are caused by the exploitation of native wood for firewood and intensive agricultural practices. In addition to the agricultural and extractivism activities, the mineral exploration also causes major impacts on the biome. A relevant example is the exploration of a local subsoil gravel, named *piçarra*, which is abundantly used in road embankments and structures linked to the onshore production and exploration of oil and natural gas. The exploration involves the suppression of all vegetation and the excavation of the soil at depths ranging from 2 to 15 m to remove the gravel and, at the end, the deposits must undergo reclamation. Previous studies have shown that it is possible to succeed in the functional restoration of these environments. However, it is necessary to advance on several fronts, such as the identification of native and naturalized species capable of colonizing the impacted areas, the identification of new planting techniques that can help newly introduced plants to survive periods of drought, and in the study of the efficiency of different planting arrangements. For this purpose, this thesis is divided into three chapters and its general objective was to evaluate the efficiency of different strategies for the recovery of areas degraded by the exploration and production of oil and natural gas in the Caatinga. The first chapter evaluated the survival and development of 33 native and naturalized tree species from the Caatinga in degraded areas containing different types of gravel substrate. To this end, an experiment was started in June 2017 in a split-plot randomized block design with four replications (locations). The 33 species were set in plots (27 individuals per species per plot) and two treatments (T1: crowning with carnauba straw and T2: control) were set in split plots. Half of the species studied were classified with high and very high aptitude, according to the restoration and conservation indexes calculated, and recommended for the reforestation of degraded areas. The second chapter evaluated the potential for using different planting compositions and different tree species arrangements as recovery strategies. An experiment was set up in a randomized block design with four treatments and four replications (T1 - control; T2 - planting of “fast-growing species” mixed with other “diversity species”; T3 - line of fast-growing species, interspersed with lines of diversity species; T4 - similar to T3, but with annual pruning of the fast-growing species). The results showed that the planting of tree species, regardless of the arrangement or management of pruning, promotes a quick covering of the soil with a high degree of survival of the introduced plants. However, the greater density in the T3 treatment of cover species can impair the development of other species in the long run. Finally, the third chapter evaluated different techniques in order to increase the survival of newly introduced plants in the dry season. For these evaluations, a randomized block experiment was installed in a factorial scheme with three factors and two levels each, namely: (1) type of seedling: common or with elongated root system; (2) mulch: with or without carnauba straw, and (3) form of irrigation: with application of water or hydrogel in the planting pit. The results show that the factors tested provided varied results depending on the species and characteristics that were evaluated under the conditions of this experiment.

**Keywords:** gravel mining; reforestation; semiarid; selection of native species.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista geral das áreas de estudo localizadas em locações operacionais desativadas utilizadas em atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural do Rio Grande do Norte: jazida J-118 (A), central de resíduos (B), base de poço (C) e jazida J-111 (D). .....	26
<b>Figura 2.</b> Abertura dos berços de plantio sendo realizada com auxílio de motocoveadora (A) e cavadeiras articuladas e de ferro (B). Aplicação de composto orgânico (C) e hidrogel (D). Mudanças sendo dispostas nos berços de plantio (E) e visão geral da área plantada (F). .....	30
Figura 3. Irrigação realizada semanalmente durante os quatro primeiros meses do experimento para garantir a sobrevivência inicial e estabelecimento das plantas. Jazida J-111, Pendências, RN.....	31
Figura 4. Aplicação da palha de carnaúba (A) e detalhe após a aplicação (B). Jazida J-111, Pendências, RN.....	31
Figura 5: Setor da jazida J-111 parcialmente alagada após eventos de precipitação ocorridos entre a quarta e quinta avaliação do experimento (maio de 2019). .....	32
Figura 6. Mensuração da altura (A) e área de copa (B) de um indivíduo de <i>Enterolobium timbouva</i> utilizando trena. Jazida J-118, Assú, RN.....	33
Figura 7: Modelo de árvore de classificação da variável taxa de crescimento em função das seguintes fontes de variação: espécie, área plantada (bloco) e cobertura morta de palha de carnaúba. Em cada nó terminal é apresentada a taxa de crescimento média (TCM) do grupo de espécies associado. . Experimento realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN. ....	40
Figura 8: Modelo de árvore de classificação da variável área de copa em função das seguintes fontes de variação: espécie, área plantada (bloco) e cobertura morta de palha de carnaúba. Em cada nó terminal é apresentada a área de copa média (ACM) do grupo de espécies associado. Experimento realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN. ....	41
Figura 9: Modelo de árvore de classificação da variável taxa de sobrevivência (%) em função das seguintes fontes de variação: espécie, área plantada (bloco) e cobertura morta de palha de carnaúba. Em cada nó terminal é apresentada a taxa de sobrevivência média (TSM) do grupo de espécies associado. Experimento realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN. ....	42
Figura 10. Imagem aérea parcial da jazida J-111 contendo a marcação da disposição dos blocos e tratamentos do experimento de estratégias de recuperação de áreas degradadas (Assú, RN). .....	60
Figura 11. Escarificação da área J-111 com auxílio de trator de esteira acoplado a um escarificador antes da instalação do experimento (A) e cerca construída no perímetro da área (B) (Assú-RN). .....	60
Figura 12. Imagem dos tratamentos 2 (A), 3 (B), 4 (C) e vista aérea (D) dos mesmos aos 631 dias após a primeira avaliação. Detalhe para o fechamento do dossel em A e B impossibilitando a mensuração individual das plantas (Assú, RN). .....	64
Figura 13. Vista aérea dos blocos 1 (A), 2 (B), 3 (C) e 4 (D) com a representação gráfica dos tratamentos e de suas respectivas áreas cobertas ou descobertas de vegetação representadas por polígonos nas cores vermelha (T1), azul (T2), laranja (T3) e verde (T4). Experimento realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, no município de Assú-RN. ....	65
Figura 14. Estrutura horizontal das principais espécies regenerantes dos tratamentos 1 e 4 com base no índice de cobertura (IC%). .....	70

Figura 15. Abertura de berços de plantio com auxílio de motocoveadora (A) e cavadeira articulada (B). Aplicação de hidrogel para os tratamentos T6 e T8 (C) e aplicação de água nos tratamentos T5 e T7 (D). Retirada do PVC da muda (E) e muda plantada (F) (Assú, RN). ....	91
Figura 16. Aplicação de palha de carnaúba no experimento (A) e muda com palha de carnaúba aplicada (B) (Assú, RN). ....	92
Figura 17. Modelo de árvore de classificação e regressão (CART) explicando a taxa de sobrevivência das espécies <i>Anadenanthera colubrina</i> (angico), <i>Amburana cearensis</i> (cumarú), <i>Pseudobombax marginatum</i> (embiratanha), <i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema-preta) e <i>Bauhinia cheilantha</i> (mororó) em função do tipo de muda (muda convencional = 0/muda com sistema radicular alongado = 1); aplicação de hidrogel no plantio (sim = 1/não = 0) e; uso de cobertura morta de palha de carnaúba (sim = 1/não = 0). ....	94
<b>Figura 18.</b> Modelo de árvore de classificação e regressão (CART) explicando a taxa de crescimento das espécies <i>Anadenanthera colubrina</i> (angico), <i>Amburana cearensis</i> (cumarú), <i>Pseudobombax marginatum</i> (embiratanha), <i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema-preta) e <i>Bauhinia cheilantha</i> (mororó) em função do tipo de muda (muda convencional = 0/muda com sistema radicular alongado = 1); aplicação de hidrogel no plantio (sim = 1/não = 0) e uso de cobertura morta de palha de carnaúba (sim = 1/não = 0). ....	96
<b>Figura 19.</b> Modelos de árvore de classificação e regressão (CART) explicando a área de copa das espécies <i>Anadenanthera colubrina</i> (angico), <i>Amburana cearensis</i> (cumarú), <i>Pseudobombax marginatum</i> (embiratanha) e <i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema-preta) em função tipo de muda (muda convencional = 0/muda com sistema radicular alongado = 1); aplicação de hidrogel no plantio (sim = 1/não = 0) e aplicação de cobertura morta de palha de carnaúba (sim = 1/não = 0). ....	98

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Identificação e localização das áreas de estudo localizadas em locações operacionais desativadas, anteriormente utilizadas em atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN. ....	25
Tabela 2. Caracterização química das quatro áreas de estudo localizadas em locações operacionais desativadas utilizadas em atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN. ....	26
Tabela 3. Conteúdos de areia+silte e argila e classificação textural das quatro áreas de estudo localizadas em locações operacionais desativadas utilizadas em atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN.....	27
Tabela 4. Espécies nativas e naturalizadas da Caatinga utilizadas no estudo em locações operacionais desativadas utilizadas em atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN. ....	28
Tabela 5. Teores de macro e micronutrientes presentes na palha de carnaúba. ....	31
Tabela 6. Parâmetros, níveis e respectivas notas utilizadas para calcular o índice de valor de conservação (VC) (adaptado de Brancalion; Rodrigues; Gandolfi, 2015).....	35
Tabela 7. Índice de valor de importância (IVI) das espécies presentes no estudo e que foram encontradas no inventário realizado no entorno das jazidas J-111 (Pendências, RN) e J-118 (Assú, RN).....	35
Tabela 8. Médias da taxa de crescimento em altura, área de copa e taxa de sobrevivência das 33 espécies florestais testadas em função da aplicação ou não de cobertura morta de palha de carnaúba (BC), 24 meses após o plantio realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN. ....	39
Tabela 9. Notas e respectivas classes de aptidão atribuídas a 32 espécies arbóreas da Caatinga de acordo com os critérios valor de conservação (VC), valor de restauração (VR) e valor de conservação e restauração (VCR). As espécies foram ordenadas, com base no VCR, da classe de mais alta aptidão para a de menor aptidão. Experimento realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN.....	43
Tabela 10. Altura média por período de avaliação e médias das taxas de cobertura, crescimento e sobrevivência dos quatro tratamentos ao final dos 470 dias após a primeira avaliação (Assú, RN).....	65
Tabela 11. Taxa de crescimento e sobrevivência por espécie nos quatro tratamentos ao final dos 470 dias após a primeira avaliação (Assú, RN). ....	66
Tabela 12. Principais espécies regenerantes registradas no levantamento florístico realizado nas parcelas dos tratamentos 1 e 4. Espécies não identificadas são listadas como “Indet” + número sequencial. ....	68
Tabela 13. Estrutura horizontal dos indivíduos regenerantes dos tratamentos 1 e 4 após 631 dias da primeira avaliação. Espécies não identificadas são listadas como “Indet” + número sequencial. ....	69
Tabela 14. Variáveis químicas do solo analisadas aos 631 dias após a implantação do experimento. ....	71
Tabela 15. Caracterização química do solo (0 a 10 cm) do substrato de piçarra da jazida J-111, local de instalação do experimento (Assú, RN). ....	90

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1 Geral.....	3
2.2 Específicos.....	3
<b>3. HIPÓTESES.....</b>	<b>3</b>
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
4.1 Caracterização Bioma Caatinga.....	4
4.2 Exploração de Piçarra.....	5
4.3 Recuperação de áreas degradadas na Caatinga.....	5
4.4 Recuperação de áreas degradadas utilizando condução da regeneração.....	6
4.5 Estratégias para recuperação de áreas degradadas em regiões semiáridas .....	8
4.6 Utilização de Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas .....	10
4.7 Utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) no monitoramento de áreas reflorestadas. ....	12
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>13</b>
CAPÍTULO I.....	20
<b>6. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
6.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
6.1.1 Caracterização da área de estudo .....	25
6.2 Delineamento experimental.....	27
6.3 Avaliações .....	32
6.3.1 Crescimento e sobrevivência das espécies arbóreas .....	32
6.3.2 Valor de Conservação (VC) .....	34
6.3.3 Valor de Restauração (VR).....	36
6.3.4 Valor de Conservação e Restauração (VCR).....	36
6.3.5 Análise dos dados .....	36
6.2 RESULTADOS .....	38
6.2.1 Crescimento e sobrevivência das espécies.....	38
6.2.2 Classes de aptidão e Valor de Restauração e Conservação .....	42
6.3 DISCUSSÃO.....	45
6.3.1 Crescimento e sobrevivência das espécies.....	45
6.3.2 Classes de aptidão Valor de restauração/conservação .....	48
6.4 CONCLUSÕES .....	50
6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	51
6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52
CAPÍTULO II.....	55
<b>7. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>58</b>
7.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
7.1.1 Caracterização da área de estudo .....	59

7.1.2 Delineamento experimental .....	59
7.1.3 .....	Avaliações
.....	61
7.1.3.4 Taxa de cobertura com VANT .....	62
7.1.4 Análise dos dados .....	63
7.2 RESULTADOS .....	64
7.2.1 Crescimento das espécies arbóreas e cobertura com VANT. ....	64
7.2.2 Estrutura horizontal dos indivíduos regenerantes .....	66
7.2.3 Análise química do solo .....	70
7.3 DISCUSSÃO .....	72
7.3.1 Crescimento das espécies arbóreas e taxa de cobertura do solo .....	72
7.3.2 Estrutura horizontal dos indivíduos regenerantes .....	75
7.3.3 Análises químicas do solo .....	77
7.4 CONCLUSÕES .....	78
7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	79
7.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
CAPÍTULO III .....	86
<b>8. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>89</b>
8.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	90
8.1.1 Caracterização da área de estudo .....	90
8.1.2 Delineamento experimental .....	90
8.1.3 .....	Avaliações
.....	92
8.1.4 Análise dos dados .....	92
8.2 RESULTADOS .....	93
8.2.2 Taxa de crescimento e área de copa .....	95
8.3 DISCUSSÃO .....	99
8.3.1 Taxa de Sobrevivência .....	99
8.3.2 Taxa de crescimento e área de copa .....	101
8.4 CONCLUSÃO.....	105
8.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	106
8.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	107
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>111</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Caatinga é considerada um dos biomas mais alterados pela atividade do homem, restando apenas 20% de sua cobertura original sem alguma intervenção antrópica (IBAMA, 2011). Muitas destas alterações foram causadas por exploração de madeira nativa para lenha e práticas agrícolas intensivas, fazendo com que algumas regiões da Caatinga passem por intensos processos de desertificação (MMA/SBF, 2002).

Além da atividade de extrativista e agrícola, a atividade de exploração mineral também é causadora de grandes impactos sobre o bioma Caatinga. No Rio Grande do Norte, a atividade de exploração e produção de petróleo e gás natural em terra constitui uma das principais atividades econômicas do estado, sendo atualmente o maior produtor nacional (ANP, 2018). Essa atividade demanda a exploração da piçarra, material de subsolo que é utilizado para construção de acessos e bases para instalação das estruturas utilizadas na exploração e produção de petróleo e gás natural (RESENDE et al, 2010). O processo de exploração envolve a supressão de toda a vegetação e a escavação do solo a profundidades que variam entre 2 a 15 m para retirada da piçarra. Ao final da atividade de mineração das jazidas, ou após o descomissionamento de bases de poço de produção de petróleo e outras instalações relacionadas (geralmente com aterros feitos com piçarra), essas áreas devem passar por etapas de restauração que envolvem desde operações de engenharia, como a construção de taludes e o direcionamento dos fluxos de água, até a introdução artificial de diversas formas de vida para acelerar o processo de revegetação e sucessão natural.

A remoção da camada superficial do solo (*topsoil*), rica em nutrientes, matéria orgânica e propágulos vegetais, além da macro e microfauna, causam a degradação de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, dificultando a recuperação funcional desses ambientes degradados. No *topsoil* estão presentes os organismos responsáveis pela ciclagem de nutrientes, processo fundamental para re-disponibilizar nutrientes às plantas. A supressão do banco de sementes e outros propágulos vegetativos pela remoção do *topsoil* e da serapilheira também retarda o processo de regeneração natural dessas áreas.

Para a recuperação da cobertura vegetal é importante o conhecimento das limitações edáficas, climáticas e culturais locais. A simples replicação de técnicas de recuperação de áreas degradadas já consolidadas em outros biomas, na maioria das vezes, não se adequa ao ambiente semiárido, com forte sazonalidade de chuvas e longo período de estiagem.

Algumas estratégias de recuperação de áreas degradadas pela extração de piçarra previamente estudadas mostraram que é possível obter sucesso na restauração funcional desses ambientes (LIMA, 2012). No entanto, é necessário avançar em diversas frentes, como na identificação de espécies nativas capazes de colonizar as áreas impactadas, na identificação de novas técnicas de plantio que auxiliem as plantas recém introduzidas a sobreviverem a períodos de estiagem, no estudo da eficiência de diferentes arranjos de plantio sobre a velocidade de restauração, dentre vários outros aspectos.

O número reduzido na literatura de trabalhos nessa temática dificulta o avanço na atividade de recuperação desses ambientes degradados, pois não é possível saber qual é o comportamento das espécies em ambientes com baixa disponibilidade nutricional, solos compactados e grandes períodos de escassez hídrica. Por conta disso, é importante que novas pesquisas sejam realizadas a fim de orientar e ajudar na recuperação desses ambientes degradados, mesmo se tratando de um bioma com elevado nível de complexidade.

Essa tese está dividida em três capítulos e tem como objetivo geral avaliar a eficiência de diferentes estratégias de recuperação de áreas degradadas pela exploração e produção de petróleo e gás natural na Caatinga. O primeiro capítulo avaliou a sobrevivência e desenvolvimento de 33 espécies arbóreas nativas e naturalizadas da Caatinga em áreas

degradadas contendo diferentes tipos de substrato. O segundo capítulo avaliou o potencial de utilização de diferentes composições de plantios e diferentes arranjos de espécies arbóreas como estratégia de recuperação. Por fim, o terceiro capítulo avaliou diferentes técnicas como a utilização de hidrogel, palha de carnaúba como mulching e mudas com sistema radicular alongado, visando aumentar a sobrevivência de plantas recém-introduzidas em período de estiagem.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Gerar conhecimentos técnicos e científicos para melhoria das estratégias até então adotadas de recuperação de áreas degradadas pela exploração e produção de petróleo e gás natural na Caatinga.

### 2.2 Específicos

- Selecionar espécies arbóreas nativas e naturalizadas do bioma Caatinga aptas para a recuperação de áreas degradadas pelas atividades petrolíferas, contendo substrato de piçarra ou outros materiais de empréstimo;
- Avaliar plantios com diferentes arranjos de espécies arbóreas quanto à promoção do recobrimento do solo e promoção da regeneração natural;
- Desenvolver estratégias que viabilizem o plantio durante períodos de estiagem.

## 3. HIPÓTESES

- Nem todas as espécies nativas e naturalizadas do bioma Caatinga são aptas para revegetação de áreas degradadas pelas atividades petrolíferas contendo substrato de piçarra ou outros materiais de empréstimo;
- A realização de podas regulares de espécies arbóreas que apresentam rápido crescimento da área de copa, como por exemplo a *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta), favorece o crescimento e desenvolvimento dos indivíduos circunvizinhos;
- A descompactação do substrato e o plantio de espécies nativas e naturalizadas acelera a recuperação de áreas degradadas na Caatinga em relação ao método simplificado de isolamento da área sem a realização de plantio;
- O plantio de mudas com sistema radicular alongado, a aplicação de hidrogel ou o uso de cobertura morta promovem uma maior taxa de sobrevivência e crescimento em plantios no início do período de estiagem.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Caracterização Bioma Caatinga

A Caatinga é conhecida como mata branca, pois no período da estação seca sua vegetação perde por completo suas folhas, fazendo com que apareçam seus troncos esbranquiçados (PRADO, 2003). Essa fisionomia vegetal está situada entre o trópico de Capricórnio e a linha do Equador, englobando os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e o norte de Minas Gerais. A baixa latitude faz com que praticamente todo o ano a intensidade luminosa seja abundante. No geral, a altitude é baixa, apresentando poucos locais no estado da Bahia acima de 2000 m e outros acima de 1000 m. Isso lhe concede temperaturas altas e pouco variáveis espacial e temporalmente, apresentando médias anuais entre 25°C e 30°C. As médias de temperatura nos meses mais frios variam muito pouco em comparação aos meses mais quentes. Isso faz com que luz e temperatura não sejam fatores limitantes para o crescimento vegetal, porém não causam variabilidade ambiental na área da Caatinga (SAMPAIO, 2003).

Esse bioma é caracterizado por índices de pluviosidade baixos, em torno de 400 a 700 mm, e os eventos de precipitação são intensos chegando a ultrapassar 100 mm em apenas um dia. Ainda, a sazonalidade é bastante irregular, com chuvas iniciando em meses diferentes, prolongando por períodos incertos e encerrando em meses diferentes de um ano para o outro (GARICLIO et al., 2010).

Com relação ao solo, a Caatinga é formada por um mosaico bastante complexo, variando bastante suas características dentro de pequenas distâncias (SAMPAIO, 1995 apud PRADO, 2003). Por esse motivo os solos podem variar de rasos até muito profundos, sendo, em geral, pedregosos e arenosos. Essas diferenças, em conjunto com a disponibilidade hídrica, irão definir as tipologias da vegetação, variando entre a cactácea até a Caatinga de areia (VELLOSO et al., 2002). A vegetação predominante do bioma é constituída de arbustos e árvores que durante a seca são decíduas e na grande maioria providas de espinhos e/ou acúleos. São também abundantes plantas cactáceas, bromeliáceas e herbáceas.

Uma característica bastante peculiar na Caatinga está relacionada com as herbáceas, que, a exemplo do que ocorre com as gramíneas nessa região, só vegetam durante o período de chuvas, fazendo com que falte alimento para os rebanhos da região.

Existem diversos habitats presentes nesse mesmo bioma por conta dessas características já destacadas e é comum encontrarmos uma mesma espécie com portes variados em função das condições do local que ela se encontra (RIZZINI, 1997).

Alguns trabalhos sobre a flora da Caatinga registraram cerca de 600 espécies arbóreas e arbustivas, sendo 180 endêmicas. Das espécies arbóreas e arbustivas podemos destacar algumas famílias mais abundantes como Caesalpiniaceae, Mimosaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae e Cactaceae, sendo os gêneros *Senna*, *Mimosa* e *Pithecellobium* os que apresentam o maior número de espécies. Dentro dessas famílias podemos destacar a catingueira (*Cenostigma pyramidale* Tul.), as juremas (*Mimosa* spp.) e os marmeleiros (*Croton* spp.) (DRUMOND et al., 2000).

O bioma da Caatinga tem grande potencial para conservação de serviços ambientais e uso econômico sustentável, que se bem aproveitados podem ser decisivos para o desenvolvimento da região. Essa grande diversidade faz com que o bioma tenha vocação para atividades econômicas com fins agrossilvipastoril e industrial, principalmente no ramo farmacêutico, de cosméticos, químico e alimentício (MMA, 2002).

Entretanto, a Caatinga é considerada um dos biomas mais alterados pela atividade humana, restando apenas 20% de sua cobertura original sem alguma intervenção antrópica (IBAMA, 2011). Muitas dessas alterações foram causadas por exploração de madeira nativa

para lenha e práticas agrícolas intensivas, fazendo com que algumas regiões da Caatinga passem por intensos processos de desertificação (MMA/SBF, 2002).

#### **4.2 Exploração de Piçarra**

Apesar de sua importância econômica e para o desenvolvimento das sociedades, a extração mineral causa grandes impactos ao meio ambiente que muitas vezes podem ser irreversíveis (BRANDT, 1998). A atividade de mineração é considerada a que mais contribui para mudanças da superfície terrestre, pois ela não afeta apenas o local da atividade, mas também o seu entorno. Ela pode causar impacto tanto na água, ar, solo, subsolo como em toda a paisagem (GRIFFITH, 1980).

No Brasil a produção de petróleo em terra tem suas atividades concentradas no Nordeste brasileiro (principalmente no bioma Caatinga), sendo a extração de piçarra a atividade de mineração que mais causa impacto na região. Esse material é constituído principalmente por areia, silte e cascalho sendo utilizado para terraplenagem de novas localidades de exploração e produção de petróleo, aterros para construção de estradas e de barragens etc. Para que seja extraído é necessário a retirada da vegetação nativa, seguido da raspagem do horizonte superficial do solo, para depois iniciar a extração de piçarra em mina aberta numa profundidade que pode variar de 2 a 10 m. Depois da extração, a área deve ser recuperada de forma que o sítio degradado retorne a condições mínimas de utilização, visando obter a estabilidade do ambiente (Decreto lei 97.632/89). Porém, a recuperação desses ambientes não é fácil devido à baixa densidade e diversidade de propágulos, baixa qualidade física, química e biológica do substrato e índices muito baixos de precipitação (PAGANO et al., 2011; FIGUEIREDO et al., 2012; SOLIVERES et al., 2012). Esses fatores, aliados a falta de informação disponível sobre espécies que se adaptem ao substrato dessas jazidas, tornam a recuperação dessas áreas degradadas um grande desafio técnico e científico.

Para que a recuperação desses locais tenha êxito, algumas medidas devem ser adotadas como o reordenamento topográfico, descompactação do substrato e reintrodução de propágulos a exemplo de mudas de espécies nativas e naturalizadas da Caatinga adaptadas a esse tipo de ambiente degradado. Por fim, devem ser realizados acompanhamentos para o monitoramento da recuperação funcional do ecossistema (RESENDE et al, 2010).

#### **4.3 Recuperação de áreas degradadas na Caatinga**

O bioma da Caatinga tem sofrido com diversos processo de degradação como a desertificação, por conta de ações antrópicas em associação aos diferentes usos da terra (SAMPAIO; ARAÚJO, 2005; SOARES, 2012), e simplificação da estrutura e redução da diversidade destes ecossistemas (BARBOSA, 2012; DRUMOND, 2000; RODAL et al., 2008; SOARES, 2012). Esses impactos são causados em grande parte por atividades agropecuárias, minerárias e extrativistas (CASTELLETTI et al., 2004).

O processo de desertificação é iniciado com a exploração excessiva da vegetação por longos períodos, o que gera aumento nos processos erosivos, deterioram as propriedades físicas, químicas, biológicas e econômicas do solo (CCD, 1995). Por conta desse acelerado grau de degradação, a recuperação das áreas degradadas é necessária para garantir a continuidade deste bioma.

Tradicionalmente, projetos de reflorestamento ambiental na Caatinga utilizaram técnicas de recuperação já consolidadas em outras regiões do Brasil como aqueles que primam pelo plantio de mudas de espécies arbóreas nativas em área total, ou condução da regeneração natural (BECHARA, 2006; KAGEYAMA; GANDARA, 2001; MARTINS, 2001). Estudos envolvendo técnicas de nucleação e de transposição de serapilheira, proveniente de áreas com

vegetação nativa, também têm sido realizados na Caatinga (NASCIMENTO NETO, 2016; SOUTO et al., 2012), porém todos em pequena escala com fins experimentais.

Entretanto, particularidades da Caatinga, como o alto endemismo de espécies (REF) e um clima que imprime estresses abióticos extremos à vegetação (altas temperaturas durante todo o ano e um longo período de estiagem), fazem com que a recuperação de áreas degradadas nesse bioma ainda seja um desafio técnico-científico. Assim, a simples cópia de modelos e técnicas desenvolvidos e já consolidados para regiões de florestas tropicais úmidas, não garante necessariamente resultados satisfatórios para ecossistemas submetidos a estresse hídrico (VIEIRA; SCARIOT, 2006).

Lima et al (2015) avaliou o desenvolvimento vegetal de 20 espécies da Caatinga e exóticas e suas alterações na qualidade do substrato em cinco jazidas de piçarra localizadas no Rio Grande do Norte, utilizou técnicas de plantio de espécies que realizam associação com bactérias fixadoras de nitrogênio e espécies que não realizam associação em áreas com e sem solo superficial. Os resultados obtidos mostraram que a utilização de solo superficial foi prejudicial para a sobrevivência e diâmetro da base principalmente para as espécies não-nodulantes. Já com relação aos outros parâmetros (altura total e taxa de crescimento) não houve influência. Os autores concluíram que o efeito negativo da aplicação do solo superficial pode estar associado a germinação das espécies herbáceas que acabou gerando competição por água, luz e nutriente com as espécies florestais. Outra hipótese é que como o solo superficial utilizado apresentava textura mais arenosa se comparado ao substrato das jazidas, a disponibilidade de água para as plantas acabou sendo prejudicada, o que pode ter alterado a dinâmica de crescimento das plantas. Ao final do experimento 7 das 20 espécies testadas foram recomendadas como tendo potencial para serem utilizadas em projetos de recuperação de áreas degradadas na região.

Os resultados obtidos por Lima et al. (2015) evidenciam como mais estudos devem ser realizados para a Caatinga, pois a técnica de transposição de solo superficial em áreas degradadas apresentou resultados satisfatórios em outras regiões.

## **4.4 Recuperação de áreas degradadas utilizando condução da regeneração**

### **4.4.1 Condução da regeneração**

A busca por estratégias de recuperação de áreas degradadas que aliem eficiência e baixo custo tem sido muito grande. A prática de condução da regeneração natural pode ser uma alternativa em alguns casos, pois é a prática de menor custo (SAMPAIO et al., 2007a).

Em pastagens abandonadas, geralmente é possível encontrar remanescentes de espécies arbóreas e arbustivas adultas isoladas que auxiliaram na recuperação da vegetação nativa por atraírem a fauna dispersora de sementes e melhorarem as condições climáticas do local, propiciando melhores condições para o estabelecimento das plântulas (HOLL et al., 2000). Essas plantas que rebrotam podem ser conduzidas e ajudar na recuperação dessas áreas degradadas (SAMPAIO et al., 2007a). Também é importante destacar que a condução da regeneração natural em locais com alto potencial de resiliência aumenta a capacidade de recuperação da área degradada (DURIGAN et al., 1998).

A condução da regeneração parte do princípio de que a área foi isolada e apresenta fragmentos nativos e maciços de regeneração natural próximos. A condução da regeneração constitui um grupo de intervenções que vão desde isolamento da área de fatores de degradação como entrada de pessoas e animais, aceiros para prevenção de incêndios, etc. passando pelo manejo de plantas nativas regenerantes por meio de capinas seletivas e coroamentos (para

diminuir a competição com espécies exóticas), e adubações quando se julgar necessário (RESENDE & CHAER, 2010).

A identificação e isolamento dos fatores de degradação do ambiente, estão entre os principais cuidados que devem ser tomados antes do início das atividades de recuperação de uma área degradada (HOLL & AIDE, 2011). A constatação dos principais fatores de degradação juntamente com o isolamento da área, tem grande importância, pois diminui o desperdício com mão-de-obra desnecessária, mudas e recursos financeiros (NBL, 2013). Isso ocorre pois, se a área apresenta potencial para que a regeneração natural cresça e se desenvolva, porém está sendo limitada pela presença de animais realizando pastejo, o simples isolamento desse local já irá propiciar condições melhores para as espécies regenerantes, diminuindo o investimento em compra de mudas para serem plantadas na área e por consequência, diminuindo o número de funcionários utilizados para realizar essa atividade, gerando economia no custo final do projeto.

É possível destacar como fatores de degradação que podem ser minimizados com essa técnica: trânsito e pastejo de animais de médio e grande porte, o trânsito de veículos, máquinas e implementos agrícolas, incêndios recorrentes, desmatamentos etc. (NBL, 2013). Porém, essa prática acaba sendo mais eficiente quando é realizada em pequenas áreas e que tenham no entorno maciços de regeneração natural e vegetação nativa. É importante que o local esteja devidamente isolado dos principais fatores de degradação, como por exemplo, cercamento da área para evitar a entrada de animais que possam pisotear e se alimentar das espécies regenerantes.

Porém, é importante destacar que essa é uma técnica de recuperação em longo prazo e necessita de monitoramento periódico. Outro ponto importante é que não existem estudos mais aprofundados sobre a eficácia dela na recuperação de jazidas de piçarra no Bioma Caatinga. As ações previstas nessa técnica geralmente são indicadas e recomendadas em projetos que visam a restauração e recuperação ecológica, e que na maioria das vezes são realizados em áreas de pastagens recobertas por vegetação de gramíneas exóticas próximas a fragmentos florestais nativos (NAVE et al., 2015).

Bordini (2007) avaliou em Mato Grosso o potencial da regeneração natural conduzida na recuperação de áreas degradadas através dos seguintes tratamentos: testemunha (área cercada e abandonada sem nenhuma intervenção); coroamento manual dos indivíduos regenerantes; coroamento manual dos indivíduos regenerantes e adubação; capina manual total e capina química total. Os tratamentos não resultaram em alterações na riqueza de espécies, mas o tratamento com capina manual total foi o que apresentou maior número de indivíduos em relação à testemunha, fato atribuído à retirada das gramíneas invasoras, fazendo com que houvesse menos competição por água, luz e nutrientes. Em contrapartida, o tratamento com capina química total foi o que apresentou menor aumento da população de indivíduos regenerantes em relação à testemunha, provavelmente pela eliminação de indivíduos jovens pelo glifosato. O tratamento com capina química total, entretanto, foi o que apresentou indivíduos com maiores medidas de altura em relação à testemunha, enquanto o tratamento com capina manual total apresentou os menores valores de altura, possivelmente devido ao grande número de espécies regenerantes neste tratamento, resultando em competição entre os indivíduos.

#### **4.4.3 Recuperação de áreas degradadas por atividade de mineração, utilizando plantio em área total**

Quando pensamos em áreas degradadas por atividades de mineração, a escolha das espécies é crucial por ser um ambiente bastante particular. Elas devem respeitar algumas

características importantes como estarem adaptadas o suficiente para serem implantadas em ambiente degradado, suportar condições de competição extrema com outras espécies vegetais e rápido estabelecimento, crescimento e desenvolvimento (RESENDE; KONDO, 2001). Plantas leguminosas capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio quando em simbiose com rizóbios apresentam grande relevância para a revegetação de áreas degradadas por mineração. Essas plantas geralmente apresentam rápido crescimento em solos pobres, rápida produção de biomassa e de serapilheira, promovendo o recobrimento do solo e o acúmulo de matéria orgânica e nutrientes no solo (CHAER et al., 2011).

Na literatura, existe apenas o trabalho realizado por Lima (2012) sobre ambientes degradados pela exploração e produção de petróleo e gás na Caatinga e que resultou em dois artigos científicos e um resumo expandido publicado no SINRAD (Simpósio Nacional sobre Áreas Degradadas) 2012. O primeiro artigo de Lima et al (2015) avaliou o desenvolvimento e sobrevivência inicial de 20 espécies da Caatinga (nativas e exóticas e nodulantes ou não), plantadas em cinco jazidas diferentes. As mudas foram plantadas em áreas com a aplicação de *topsoil* e sem a aplicação dele, além da aplicação ou não de esterco bovino na cova de plantio. Os autores concluíram que apenas 7 espécies estão aptas para serem utilizadas em recuperação de áreas degradadas pela exploração de petróleo. O segundo artigo de Lima et al (2017) avaliou a utilização de fauna edáfica do solo com indicadora de qualidade do solo de áreas de jazida, por meio de comparação com áreas de Caatinga nativa no entorno da área experimental. O experimento foi em blocos casualizados, em parcelas subdivididas com relação a épocas (0, 1, 3 e 6 anos depois do plantio), sempre ao final da estação chuvosa, com três tratamentos (T1 - com aplicação de topsoil, T2 - sem aplicação de topsoil e T3 - Caatinga nativa). Os autores concluíram que a fauna do solo pode ser considerada um bom indicador para monitoramento da recuperação das funções ecológicas da área degradada. Eles concluíram também que a utilização de topsoil tem impacto positivo na fauna do solo, se levar em consideração os resultados encontrados para a área onde não houve a aplicação do material.

Já o resumo publicado por Lima et al (2012) avaliou a qualidade do solo após o plantio de espécies florestais (nativas e exóticas e nodulantes ou não). O experimento foi em blocos e parcelas subdivididas, tendo como fatores solo superficial (com e sem) e fixação biológica (10 espécies que fazem associação com bactérias fixadoras de N e 10 que não fazem associação). Esses tratamentos foram avaliados na área onde ocorreu plantio, área controle negativo (área da jazida sem plantio) e controle positivo (Caatinga nativa no entorno da área experimental). A conclusão dos autores foi que os indicadores microbiológicos de qualidade do solo apresentam alterações mais evidentes que os físicos e químicos com relação ao tipo de estratégia utilizada para recuperação do solo, além de as espécies que fazem associação com bactéria melhoram a qualidade do solo, se aproximando dos valores encontrados na Caatinga nativa.

#### **4.5 Estratégias para recuperação de áreas degradadas em regiões semiáridas**

Em ambientes áridos, como a Caatinga, existem dificuldades para a implementação de projetos de recuperação de áreas degradadas que não são encontradas em ambientes tropicais. A grande preocupação para o estabelecimento das plantas em regiões tropicais diz respeito a manutenção dos plantios realizados, pois em boa parte dos casos eles são realizados em áreas de pastagens abandonadas com predomínio de gramíneas exóticas invasoras que competem com as espécies arbóreas, dificultando o crescimento e desenvolvimento delas (ZIMMERMAN et al., 2000; CAMPANELLO et al., 2007; GONÇALVES, 2016). Porém, nesses ambientes a água dificilmente é fator limitante para o crescimento e desenvolvimento vegetal, pois a precipitação ocorre durante boa parte do ano, diminuindo em algumas regiões, mas quase nunca não havendo precipitação por vários meses, como ocorre na Caatinga, onde praticamente metade do ano não são registradas precipitações significativas. Na Caatinga a água é o grande

limitador para a realização de plantio, pois a janela para essa atividade acaba sendo muito pequena, restringindo-a a poucos meses do ano e fazendo com que as espécies que serão utilizadas sejam capazes de suportar diversos meses do ano em condições de déficit hídrico.

Para a Caatinga, principalmente em áreas degradadas pela atividade de exploração e produção de piçarra, a seleção das espécies que suportem locais degradados e com pouca disponibilidade de água é fator primordial para o sucesso de implementação dos projetos de recuperação de áreas. Elas devem apresentar altas taxas de crescimento, sobrevivência, rápido recobrimento do solo e ainda, grande produção de material orgânico. Essas características podem auxiliar na proteção dos solos contra processos erosivos (LIMA et al., 2015).

Porém, apenas a preocupação com a seleção das espécies ideais para serem utilizadas não é o bastante, pois mesmo essas espécies acabam sofrendo nos meses com grande déficit hídrico. É importante que algumas estratégias sejam utilizadas para que promoção de maior disponibilidade de água para as plantas, principalmente nos meses sem precipitação, para garantir a sobrevivência delas. Nesse sentido a utilização de hidrogel (polímeros hidrofílicos de matriz tridimensional, constituídos por cadeias lineares ou ramificadas) pode ser muito importante em projetos de recuperação de áreas degradadas principalmente em regiões com períodos de seca durante o ano que acabam limitando o crescimento das plantas. Ele pode fornecer água para o crescimento e desenvolvimento delas com custos mais acessível se comparado a plantios com irrigações periódicas durante a fase inicial de crescimento das plantas (FAJARDO et al., 2013). Eles apresentam uma grande capacidade de absorção e retenção de água no solo, aumentando a umidade do local, permeabilidade e oxigenação, podendo levar ao aumento de absorção de nitrogênio pelas plantas (CAMPOS et al., 2015). Apresentam capacidade de absorção que pode variar de 10 por cento a até centenas de vezes a sua massa seca (HENNINK; VAN NOSTRUM, 2012; SILVA, 2007). Em regiões com constante déficit hídrico, os hidrogéis a base de celulose, podem auxiliar na liberação da água armazenada quando o solo está seco, aumentar a porosidade do mesmo e melhorar a aeração proporcionando aumento no crescimento radicular (DEMITRI et al., 2013).

A água pode ficar retida nos hidrogéis de forma fraca e por curto espaço de tempo ou também de forma fraca, porém por um período maior (TERRACOTTEM; VILJOEN, 1977). O que irá definir como essa água ficará armazenada é o tipo de hidrogel que está sendo utilizado. Os que apresentam capacidade de retenção por longo período e tem grande destaque mundial, principalmente no setor agrícola são os compostos de poliacrilamida (PAM) que fazem a absorção da água através da formação de pontes de hidrogênio (ALBUQUERQUE, 2016).

Outra alternativa que pode aumentar a disponibilidade de água para as plantas nessas regiões é o uso da palha de carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) como mulching. A palha de carnaúba, localmente denominada de paú ou bagana, constitui um subproduto da atividade de extração da cera das folhas dessa palmeira típica do nordeste brasileiro e que tem grande importância na economia da região seja para fins paisagísticos, construção civil, artesanato, alimentação de animais, fabricação de papéis com alta qualidade ou produção de tintas (CONAB, 2006). A forma de utilização é diferente se comparada ao hidrogel, porém o objetivo continua sendo aumentar o tempo de permanência da água no sistema para que a planta tenha disponível nos períodos mais críticos. A palha é depositada na superfície do solo (mulching), na projeção da copa das plantas, criando uma barreira contra a evaporação da água e ajudando na conservação da mesma por um período maior no solo se comparado a locais sem a aplicação dessa cobertura (FIDALSKI et al., 2010). Ela também pode contribuir para proteção do solo contra os efeitos erosivos do impacto direto das gotas de chuva, menor oscilação da temperatura (SMOLIKOWSKI et al., 2001) e aumento na quantidade de matéria orgânica do solo à medida que vai decompondo.

Ela é utilizada a muitos anos na região nordeste do país e tem apresentado resultados positivos com relação ao aumento de produtividade de uma determinada cultura ou mesmo

aumento do crescimento e desenvolvimento das plantas. Corroborando com essa afirmação, os autores Ziegler *et al.* (2011) que testaram o uso da palha de carnaúba e esterco de ovelha na produção do milho em condições de déficit hídrico no litoral norte do Ceará, concluíram que o uso da palha elevou a produção dessa cultura se comparado a produção obtida pelo milho na mesma região em anos sem déficit hídrico. Eles também concluíram que a adubação com esterco isolada ou associada a palha de carnaúba, ajudou a diminuir o impacto negativo do estresse hídrico nas plantas, porém obtendo uma menor produtividade.

A utilização da palha também é benéfica no controle de plantas daninhas como visto na pesquisa realizada por Vale e Medeiros (2012) que trabalhando com palha de carnaúba na produção de alface concluíram que ela foi capaz de diminuir a incidência de plantas daninhas na cultura e manter a produção da alface durante a avaliação da pesquisa.

A Instrução Normativa N° 35 do (MAPA, 2006) define como condicionador de solo os produtos que ajudam a melhorar as propriedades físicas, físico-química ou biológicas do solo, recuperando os mesmos quando estão degradados ou com insuficiência nutricional. Portanto, o hidrogel e a palha de carnaúba podem ser considerados condicionadores de solo por contribuírem de alguma forma para a melhoria das condições do solo (ALBUQUERQUE, 2016).

#### **4.6 Utilização de Indicadores de Recuperação de Áreas Degradadas**

Os projetos de recuperação de áreas degradadas (RAD) muitas vezes são elaborados e executados sem que exista a certeza de que as ações tomadas foram suficientes para que a área em questão consiga suportar as intempéries locais e manter a sua integridade. Por conta disso, monitoramentos e avaliações da área que está sendo recuperada devem ser realizados de maneira periódica. Essas ações podem revelar possíveis problemas na condução do projeto ou potencial de recuperação pleno da área (BRANCALION *et al.*, 2012). O monitoramento deve ser realizados de maneira sistemática e não apenas ao final do projeto (VALLAURI *et al.*, 2005), pois só assim seria possível corrigir possíveis problemas como aumento de operações de manutenção, replantios, controle de pragas etc.

O monitoramento é feito pela mensuração de indicadores ambientais, a exemplo de riqueza de espécies, diversidade média, presença ou ausência de espécies exóticas invasoras, presença de espécies exóticas não-invasoras, presença de espécies ameaçadas de extinção, mortalidade das mudas, altura médias das plantas, cobertura de copa, cobertura de gramíneas e distribuição orientada dos grupos de plantio. (BRANCALION *et al.*, 2012; O'CONNOR *et al.*, 2005). Os valores dos indicadores podem ser comparados tendo como referência áreas próximas que não sofreram distúrbio ou que sofreram distúrbio, porém que não sofreram intervenção.

Porém, não existe uma lista de indicadores universais para monitoramento de RAD, pois cada ecossistema irá se comportar de uma maneira e diferentes indicadores deverão ser utilizados de acordo com o público alvo e finalidades da recuperação (BRANCALION *et al.*, 2012; EHRENFELD, 2009). Os indicadores devem conseguir representar a complexidade do ecossistema, pois eles são ferramentas metodológicas que tentam expressar algum aspecto da realidade de forma que seja possível a observação ou mensuração (DALE & BEYELER, 2001).

As ações de monitoramento e avaliações em projetos de RAD muitas vezes não são realizadas, pois geralmente esses projetos tem como objetivo o cumprimento de demandas específicas de certificação e licenciamento ambiental sem nenhum comprometimento com o resultado final ou sustentabilidade ecológica (ANDRADE, 2014). Em alguns casos onde o monitoramento é realizado, os resultados não são explorados por serem complexos e de difícil interpretação para a comunidade em geral. Estratégias que possam auxiliar na transmissão desses resultados de forma mais clara e simplificada para todos devem ser desenvolvidas, porém

mesmo sendo uma tarefa essencial ela também é bastante complexa (BRANCALION et al., 2012).

A utilização de indicadores pode ser uma ferramenta de auxílio na transmissão dessas informações, pois eles são recursos metodológicos, referidos de forma empírica e que tem a capacidade de informar aspectos da realidade ou mudanças que estão ocorrendo de maneira que seja possível a observação e mensuração do objeto de estudo (VALARELLI, 2004). Os indicadores quantificam e simplificam um fenômeno, facilitando o entendimento e trazendo informações sobre as mudanças dentro de um sistema (SANCHEZ- FERNANDEZ, 2009). Eles podem ser quantitativos ou qualitativos, sendo os quantitativos os mensuráveis como altura das plantas, densidade de indivíduos regenerantes, diversidade de espécies etc. Já os qualitativos têm como referência informações que se baseiam em percepções subjetivas e que não podem ser quantificados como infestação de gramíneas exóticas que podem ser de baixa, média ou alta intensidade a partir de observação visual (BRANCALION et al., 2012).

Quando pensamos em RAD os indicadores aplicados são os ecológicos, pois são utilizados para monitorar áreas naturais que não sofreram distúrbio ou na avaliação de áreas em recuperação. Eles também sinalizam as mudanças nas condições do meio ambiente (DALE e BEYELER, 2001 apud DURIGAN, 2011).

Para alguns autores (VALLAURI et al., 2005; DALE & BEYELER, 2009; DOREN et al., 2009; DURIGAN, 2011) as principais características dos indicadores ecológicos devem ser: facilmente mensurável (porcentagem de voçorocas na bacia hidrográfica); sensível ao estresse (resposta conhecida a distúrbios e mudança ao longo do tempo); previsível (Indicam as principais mudanças do sistema ecológico e que possam ser contidos pela gestão); integrativo e complementares (reúne conjunto de parâmetros que fornecem uma medida nos sistemas ecológicos-tipos de vegetação, temperatura etc.); confiável (Mostrar de forma confiável as características monitoradas-funções ecológicas, estrutura e a composição florestal).

A escolha dos indicadores ideais para o monitoramento e avaliação de um projeto de RAD são o ponto chave, pois existem vários indicadores que podem ser utilizados ou mesmo criados, porém só devem ser utilizados aqueles que melhor representem a área em que serão empregados. Para Sánchez-Fernandez (2009) é preciso conseguir um equilíbrio do número de indicadores que serão utilizados para que eles consigam representar as principais características do sistema. A utilização de muitos indicadores, mesmo que simples, acabam dificultando a interpretação dos resultados (ANDRADE, 2014).

Não existem indicadores padrão para o monitoramento das áreas em processo de recuperação, haja vista os indicadores utilizados pelos autores citados anteriormente. O mais importante é sempre tentar expressar a realidade do local onde o projeto está sendo desenvolvido, utilizando indicadores que possam auxiliar na busca pelo objetivo final, adequando-os se necessário. Eles podem mudar em função do bioma, da fitofisionomia, das espécies ou mesmo da época do ano que o monitoramento está sendo realizado.

Para a Caatinga não existe uma lista de indicadores de RAD definida nem uma proposta para tal, muito porque as pesquisas nesse bioma ainda são escassas, levando em consideração o tamanho e importância desse bioma. São poucos os projetos que foram ou estão sendo realizados na Caatinga com a finalidade de recuperação de áreas degradadas e que tenham obtido sucesso (LIMA, 2012; MELO et al., 2012; SOUTO, 2012; VIEIRA, H, 2012). Na maioria deles a finalidade da recuperação não é a sustentabilidade ecológica e sim cumprir demandas de certificação e licenciamento ambiental (ANDRADE, 2014).

#### **4.7 Utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) no monitoramento de áreas reflorestadas.**

A utilização dos VANTs no Brasil tiveram início na década de 80 no projeto Acauã e foi desenvolvido pelo Centro Técnico Aeroespacial (CTA) (MEDEIROS et al., 2008). O surgimento dessa tecnologia possibilitou o avanço nas operações de reflorestamento de muitas empresas, pois ela garantiu aumento na eficiência em relação ao custo e o tempo, obtendo e processando os dados de campo com mais precisão, garantindo uma tomada de decisão mais assertiva. Ela também possibilitou a realização de monitoramentos mais frequentes, mesmo em locais mais remotos, diminuindo o risco para as equipes de campo (FAUSTINO, 2018).

A primeira utilização dos VANTs voltada para agricultura de precisão foi desenvolvida pela Embrapa no projeto Arara (Aeronave de Reconhecimento Assistida por Rádio e Autônoma) com a finalidade de substituição das aeronaves tripuláveis utilizadas na captura de imagens aéreas até aquele momento (JORGE e INAMASU, 2014). O uso dessa tecnologia cresceu bastante nos últimos anos em função dos avanços tecnológicos que permitiram a obtenção de imagens de alta qualidade de pequenas áreas, boa resolução espacial com alto nível de detalhamento, rápida obtenção dos dados e redução considerável dos custos operacionais (WATTS et al., 2010).

Na área florestal, a aplicação dos VANTs é bem variada podendo ser utilizada para: detecção de focos de incêndio, mapeamento e monitoramento dos mesmos; mapeamento e monitoramento de áreas degradadas e em estágio de recuperação; localização de áreas de exploração, onde existam árvores derrubadas, auxílio no planejamento dos cortes e otimização dos processos da atividade; identificação e controle de pragas e doenças em florestas naturais e plantadas (ATAÍDE, 2016).

Outras funções importantes que têm sido bastante exploradas ultimamente por essa tecnologia são a obtenção da taxa de cobertura arbórea em projetos de reflorestamento, a avaliação da biodiversidade (GETZIN et al., 2012) e levantamentos cartográficos e topográficos (GETZIN et al., 2014). Alguns autores como Machado et al. (2018) destacam que essa ferramenta é importante também para o monitoramento de áreas arbustivas, degradadas ou em recuperação, permitindo avaliar a área total com menor esforço de campo.

A obtenção da taxa de cobertura do solo por sensoriamento remoto tem grande potencial para ser utilizada em projetos de restauração florestal, tendo em vista que a resposta espectral da cobertura florestal é destaque em imagens de satélite ou mesmo registradas através de veículos tripulados, desde que os dados obtidos tenham o nível de detalhamento mínimo para a mensuração desse indicador, levando em conta que geralmente as áreas em processo de recuperação são por muitas vezes pequenas (SILGUEIRO et al., 2017). Nesse sentido, a utilização dos VANTs merece destaque, pois é possível acoplar sensores de alta resolução espacial, com baixo custo operacional, gerando ótimos resultados com imagens bem detalhadas indicando o progresso da recuperação das áreas degradadas (CÂNDIDO et al., 2015).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Reservas Nacionais de Petróleo e Gás Natural**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2018>>. Acesso em: 15 out. 2019.
- ANDRADE, G. F. DE. **Proposta Metodológica de Indicadores para Recuperação de Áreas Degradadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- ARAÚJO FILHO, J. A. DE.; CARVALHO, F. C. DE. Desenvolvimento sustentado da caatinga. Sobral: EMBRAPA - CNPC (EMBRAPA - CNPC. **Circular Técnica**, 1 3), 1997.
- ARAÚJO, G. M. DE. **Matas ciliares da caatinga: florística, processo de germinação e sua importância na restauração de áreas degradadas**. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2009.
- ATAÍDE, D. H. dos S. **Aplicação de VANT no mapeamento do uso e cobertura do solo e na geração de modelos 3d da paisagem**. Monografia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.
- BARBOSA, M. D. **Composição florística, regeneração natural, decomposição e ciclagem de nutrientes, em área de caatinga hipoxerófila em Arcoverde, Pernambuco**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.
- BECHARA, F. C. **Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga**. Tese. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura, 2006.
- BORDINI, M. C. P. **Manejo da regeneração natural de vegetação de cerrado, em áreas de pastagem, como estratégia de restauração na fazenda Santa Maria do Jauru, município de Porto Esperidião, MT**. Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
- BRANCALION, P. H. S. et al. Avaliação e Monitoramento de Áreas em Processo de Restauração. In: MARTINS, S. V. (Ed.). **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. Viçosa: Editora UFV, cap. 9, p. 262–293, 2012.
- BRANDT, W. Avaliação de cenários em planos de fechamento de minas. In: DIAS, L. E.;

- MELO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV/Departamento de Solos/Sociedade Brasileira de Recuperação de áreas Degradadas, p. 131–134, 1998.
- CAMPOS, E. V. R. et al. Polysaccharides as safer release systems for agrochemicals. **Agronomy Sustain. Develop.**, v. 35, n. 1, p. 47–66, 2015.
- CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M.; FILHO, A. C. P. Imagens de alta resolução espacial de veículos aéreos não tripulados (VANT) no planejamento do uso e ocupação do solo. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. v. 38, p. 147–156, 2015.
- CASTELLETTI, C. H. M. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J. M. C. et al. (Eds.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. p. 91–100, 2004.
- CCD. Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação. Tradução: Delegação de Portugal. Lisboa (PT): **Instituto de Promoção Ambiental**, 1995.
- CHAER, G. M.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M.; BODDEY, R. M. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. **Tree Physiology**, p. 139-149, 2011.
- DALE, V. H.; BEYELER, S. C. Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological Indicators**, V.1, p. 3–10, 2001.
- DEMITRI, C. et al. Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture. **Int. J. Polym. Sci.**, v. 2013, p. 1–6, 2013.
- DOREN, R. F. et al. Ecological indicators for system-wide assessment of the greater everglades ecosystem restoration program. **Ecological Indicators**, V. 9, I 6, Suplemento, p. 2–16, 2009.
- DRUMOND, M. A. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: **Workshop avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma caatinga**. Petrolina. p. 1–23, 2000.
- DURIGAN, G. et al. Indução Do Processo De Regeneração Da Vegetação De Cerrado Em Área De Pastagem, Assis, Sp. **Acta boI. bras**, v. 12, n. 3, p. 421–429, 1998.
- DURIGAN, G. O uso de indicadores para monitoramento de áreas em recuperação. **Cadernos da Mata Ciliar**, São Paulo, n. 4, p. 11–39, 2011.

- EHRENFELD, J. G. Defining the Limits of Restoration: The Need for Realistic Goals. **Restoration Ecology**, V.8, N° 1, p. 2–9, 2009.
- FAJARDO, L. et al. Restoration of a degraded tropical dry forest in Macanao, Venezuela. **Journal of Arid Environments**, v. 88, p. 236–243, 2013.
- FIDALSKI, J. et al. Availability of soil water under tillage systems, mulch management and citrus rootstocks. **Revista Brasileira de ciências do Solo**, v. 34, p. 917–924, 2010.
- FILHO, R. A. P. **Hidrogel associado à bagana de carnaúba no estabelecimento de plantas de tamboril em solo degradado**. Dissertação. Universidade Federal do Ceará, 2016.
- FINOL, U. H. Nuevos parâmetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. Caracas (VEN.): **Rev. For.**, v. 14, n. 21, p. 24–42, 1971.
- GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, 2010.
- GETZIN, S.; NUSKE, R. S.; WIEGAND, K. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests. **Remote Sensing**, v. 08, n. 06, p. 6988–7004, 2014.
- GETZIN, S.; WIEGAND, K.; SCHÖNING, I. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles. **Methods in Ecology and Evolution**, n. 02, v. 03, p. 397–404, 2012.
- GIULIETTI, A. M.; BOCAGE NETA, A. N. DU; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; VIRGÍNIO, J. F.; QUEIROZ, L. P. DE; FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. DE J. N.; BARBOSA, M. R. DE V.; HARLEY, R. M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**, p. 382, 2004.
- GOMES, J. M. **Restauração ecológica de área ciliar degradada da caatinga do Rio São Francisco**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2017.
- GRIFFITH, J. J. Recuperação conservacionista da superfície de áreas mineradas: uma revisão de literatura. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Investigações Florestais/UFV**, 1980.
- GRIFFITH, J. J.; DIAS, L.; JUCKSCH, I. E. Novas estratégias ecológicas para a revegetação de áreas mineradas no Brasil. In: **Simpósio Sul-Americano, 1 e Simpósio Nacional, 2 sobre Recuperação de Áreas Degradadas**. Foz de Iguaçu-PR. FUPEF, p. 31–43, 1994.

- HENNINK, W. E.; NOSTRUM, C. F. VAN. Novel crosslinking methods to design hydrogels. **Adv. Drug Deliv. Rev.** v. 64, p. 223–236, 2012.
- HOLL, K. D. et al. Tropical montane forest restoration in Costa Rica: Overcoming barriers to dispersal and establishment. **Restoration Ecology**, v.8, n.4, p. 339–349, 2000.
- HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 1558-1563, 2011.
- IBAMA. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/ecossistema/caatinga.htm>>.
- JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: Resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, cap 08, p. 109–134, 2014.
- KAGEYAMA, P.; GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo; FAPESP, p. 249–269, 2001
- LEAL, I. R. ET AL. Ecologia e conservação da Caatinga: uma introdução ao desafio. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. DA (Eds.). **Ecologia e Conservação da caatinga**. Recife: Editora da UFPE, 2003.
- LIMA, K. D. R. **Avaliação de espécies arbóreas e técnicas de plantio para recuperação de áreas degradadas por exploração de piçarra na caatinga**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, RN, 2012.
- LIMA, K. D. R. et al. Seleção de espécies arbóreas para revegetação de áreas degradadas por mineração de piçarra na caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 203–213, 2015.
- MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E A. S. DE D. A. **Instrução Normativa nº 35**, 2006.
- MARTINS, S. V. Recuperação de matas ciliares. Viçosa: Aprenda fácil, p. 143, 2001.
- MEDEIROS, F. A. Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado. **Ciência Rural**, v. 38, n. 08, p. 2375–2378, 2008.
- MELO, F. P. L.; BASSO, F. A.; SIQUEIRA FILHO, J. A. Restauração ecológica da Caatinga: desafios e oportunidades. In: SIQUEIRA FILHO, J. A. (Ed.) **A flora das caatingas do Rio São Francisco: história natural e conservação**. Rio de Janeiro, 552p. il. cap. 11. p. 396–

421, 2012.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa de revitalização da bacia hidrográfica do rio São Francisco.** Disponível em: <[https://www2.camara.leg.br/atividadelegislativa/comissoes/comissoestemporarias/externas/55aleislatura/copy2\\_of\\_situacaohidricadosmunicipiosdeminasgerais/documentos/audiencias-publicas/MMA.pdf](https://www2.camara.leg.br/atividadelegislativa/comissoes/comissoestemporarias/externas/55aleislatura/copy2_of_situacaohidricadosmunicipiosdeminasgerais/documentos/audiencias-publicas/MMA.pdf)>. Acesso em: 25 maio. 2018.

MMA/SBF. Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília SBF, p. 404, 2002.

NASCIMENTO NETO, J. H. **Aplicação de técnica restauradora de caatinga no Seridó da Paraíba, Brasil.** Monografia. Universidade Federal de Campina Grande, 2016.

NBL, E. A. L. E T. N. C. (TNC). Manual de restauração florestal: um instrumento de apoio à adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará. p. 128, 2013.

O'CONNOR, S.; SALAFSKY, N.; SALZER, D. W. Monitoring Forest Restoration Projects in the Context of an Adaptive Management Cycle. In: MANSOURIAN, S.; VALLAURI, D.; DUDLEY, N. (Eds.). **Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees.** New York: Springer, p. 140–149, 2005.

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: INARA R. LEAL; MARCELO TABARELLI; JOSÉ MARIA CARDOSO DA SILVA (Ed.). **Ecologia e Conservação da Caatinga.** Universitá ed. Recife-PE: p. 822, 2003.

RESENDE, A. S. DE; CHAER, G. M. **Manual para recuperação de áreas degradadas por extração de piçarra na Caatinga.** Seropédica-RJ. Embrapa Agrobiologia, 2010.

RESENDE, A. V.; KONDO, M. K. Leguminosas e recuperação de áreas degradadas. **Informe Agropecuário**, v.22, n.210, p. 46–56, 2001.

RODAL, M. J. N.; MARTINS, F. R.; SAMPAIO, E. V. DE S. Levantamento quantitativo das plantas lenhosas em trechos de vegetação de caatinga em Pernambuco. **Caatinga, Mossoró**, v. 21, n. 3, p. 192–205, 2008.

SAMPAIO, A. B.; HOLL, K. D.; SCARIOT, A. Does restoration enhance regeneration of seasonal deciduous forests in pastures in central Brazil? **Restoration Ecology**, Boston, v. 15., p. 462–471, 2007.

- SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. In: **Ecosistemas brasileiros: manejo e conservação**. Expressão ed. Fortaleza-CE, p. 392, 2003.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. DO S. B. Desertificação no Nordeste do Brasil. In: **Anais Congresso brasileiro de ciência do solo**. Recife. Palestra CD-ROM. Recife: UFPE/SBCS, 2005.
- SAMPAIO, E. V. S. B. Overview of the Brazilian Caatinga. In: S.; H. BULLOCK, H. A. M. & E. M. (Eds.). **Seasonally Dry Tropical Forests**. Cambridge University Press, Cambridge: p. 35–63, 1995.
- SANCHEZ- FERNANDEZ, G. **Análisis de la sostenibilidad agraria mediante indicadores sintéticos: aplicación empírica para sistemas agrários de Castilla y León**. Tese (Doutorado), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2009.
- SILGUEIRO, V. DE F. et al. Uso de imagens obtidas com veículo aéreo não tripulado (VANT) para verificação do indicador de cobertura do solo no monitoramento da restauração florestal. In: **Anais**. Santos: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2017.
- SMOLIKOWSKI, B.; PUIG, H.; ROOSE, E. Influence of soil protection techniques on runoff, erosion and plant production on semi- arid hillsides of Cabo Verde. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 87, p. 67–80, 2001.
- SOARES, D. B. **Degradação ambiental no semiárido pernambucano: contribuição ao estudo da desertificação**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco – Recife, 2012.
- SOLIVERES, S.; MONERRIS, J.; CORTINA, J. Irrigation, organic fertilization and species successional stage modulate the response of woody seed-lings to herbaceous competition in a semi-arid quarry restoration. **Applied Vegetation Science**. Chapel Hill, v. 15, n. 2, p., p. 175–186, 2012.
- SOUTO, J. S. Nucleating technique used for ecological restoration in the semiarid region of Brazil. In: **Anais...** The European Conference on Ecological Restoration September České Budějovice, Czech Republic. p. 93, 2012.
- VALARELLI, L. L. **Construção e Uso de Indicadores de Resultados e Impacto em Projetos Sociais**. Rio de Janeiro, , 2004.

- VALE, J. C. DO; MEDEIROS, D. C. DE. Performance of lettuce cultivars to protect environmental and soil cover effects. **IDESIA** (Chile), v. 30, Nº 3., p. 103–10, 2012.
- VALLAURI, D. et al. Monitoring and Evaluating Forest Restoration Success. In: MANSOURIAN, S.; VALLAURI, D.; DUDLEY, N. (Eds.). **Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees**. New York: Springer, p. 150–158, 2005.
- VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. Ecorregiões: propostas para o bioma Caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste: Instituto de Conservação Ambiental - **The Nature Conservancy do Brasil**, 2002.
- VIEIRA, H, DOS S. **Recomposição vegetal utilizando a regeneração artificial, com e sem irrigação, em áreas ciliar do alto Sertão Sergipano**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2012.
- VIEIRA, D. L. M.; SCARIOT, A. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for regeneration. **Restoration ecology**, v.14, n.1, p. 11–20, 2006.
- WATTS, A. C. Small Unmanned Aircraft Systems for Low-Altitude Aerial Surveys. **Journal of Wildlife Management**, v.74, n. 07, p. 1614–1619, 2010.
- ZIEGLER, H. R. S. et al. Utilização de insumos locais para o aumento da produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.) sob condições de baixa pluviosidade no litoral norte do CE. Resumos do VII Congresso Brasileiro de Agroecologia – Fortaleza/CE – **Cadernos de Agroecologia**, v. 6, n. 2, 2011.

## **CAPÍTULO I**

**Seleção de espécies arbóreas da caatinga para recuperação de áreas degradadas por atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural.**

## RESUMO

O objetivo desse estudo foi selecionar espécies arbóreas para a revegetação de áreas degradadas contendo substrato de piçarra e outros materiais de empréstimo no bioma Caatinga. Para tanto, foram conduzidos estudos em quatro localidades desativadas que foram utilizadas na exploração e produção de petróleo e gás natural no Rio Grande do Norte. O experimento foi iniciado em junho de 2017 com delineamento experimental em blocos casualizados e parcelas divididas, sendo testadas 32 espécies nas parcelas e a aplicação ou não de palha de carnaúba nas subparcelas. Cada bloco experimental foi repetido em uma de quatro localidades operacionais desativadas, sendo duas jazidas de piçarra, uma base de poço e uma central de resíduos. Foram realizadas avaliações de crescimento e sobrevivência das espécies ao longo de 24 meses. Para o ranqueamento das espécies quanto à aptidão para uso em projetos de recuperação de áreas degradadas na região, foi definido o índice de valor de conservação e restauração (VCR) baseado em indicadores de desempenho (crescimento e sobrevivência) e de relevância ecológica da espécie (status de conservação, raridade, endemismo e tamanho da semente). A palha de carnaúba influenciou positivamente o crescimento (em altura ou tamanho da copa) de apenas cinco (*Anadenanthera colubrina*, *Bauhinia cheilantha*, *Copernicia prunifera*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Senna spectabilis*) das 32 espécies avaliadas. Esses efeitos variaram de 6 a 162% de aumento na taxa de crescimento ou área de copa. Duas espécies (*Libidibia ferrea* e *Tabebuia aurea*) tiveram o crescimento reduzido sob esse tratamento. Entretanto, *L. ferrea* obteve maior sobrevivência quando foi aplicada a cobertura morta, enquanto *Peltophorum dubium* e *Pseudobombax marginatum* menor sobrevivência. Quando as espécies foram analisadas de forma conjunta, não houve efeito do fator cobertura morta sobre as variáveis taxa de crescimento, área de copa e taxa de sobrevivência. Dentre as espécies testadas, 15,6% foram classificadas com baixa aptidão, 34,4% com média, 34,4% com alta e 15,6% com aptidão muito alta com base no VCR. As espécies classificadas no nível mais alto de aptidão foram *Jatropha curcas*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Piptadenia stipulacea*, *Mimosa schomburgkii* e *Ziziphus joazeiro*. Os resultados desse estudo indicam que não se justifica o uso de cobertura morta com palha de carnaúba em reflorestamentos multiespecíficos, uma vez que a grande maioria das espécies não respondeu, ou respondeu de forma pouco intensa a esse tratamento. Com base no índice VCR, são indicadas 16 espécies com alta ou muito alta aptidão para uso na revegetação de jazidas de piçarra ou de outras áreas impactadas pela exploração e produção de petróleo no bioma Caatinga. O índice VCR proposto constitui-se em uma nova ferramenta para a seleção de espécies para recuperação de áreas degradadas na Caatinga e também aplicável a outras regiões.

**Palavras-chave:** Vale do Açu, semiárido; mineração de piçarra; reflorestamento; seleção de espécies nativas.

## ABSTRACT

The objective of this study was to select tree species for the revegetation of degraded areas containing gravel substrate and other mineral materials in the Caatinga biome. To this end, studies were conducted in four decommissioned locations that were used in the exploration and production of oil and natural gas in Rio Grande do Norte.. The experiment started in June 2017 with an experimental design in randomized blocks and split plots, with 33 species being tested in the plots and the application or not of carnauba straw as mulching material in the subplots. Each experimental block was repeated in one of four decommissioned areas, with two sludge deposits, a well base and a waste center. Species growth and survival assessments were carried out over 24 months. For the ranking of species as to suitability for use in restoration projects in the region, the index of restoration and conservation value (VCR) was defined based on performance indicators (growth and survival) and ecological relevance of the species (conservation status, rarity, endemism and seed size). The carnauba mulch positively influenced the growth (in height or size of the crown) of only five (*Anadenanthera colubrina*, *Bauhinia cheilantha*, *Copernicia prunifera*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Senna spectabilis*) of the 32 species evaluated. These effects ranged from 6 to 162% increase in growth rate or canopy area. Two species (*Libidibia ferrea* and *Tabebuia aurea*) had reduced growth under this treatment. However, *L. ferrea* obtained greater survival when mulching was applied, while *Peltophorum dubium* and *Pseudobombax marginatum* had less survival. When the species were analyzed together, there was no effect of the mulch factor on the growth rate, canopy area and survival rate variables. Among the species tested, 15.6% were classified as having low fitness, 34.4% as average, 34.4% as high and 15.6% as much high aptitude based on the VCR. The species classified at the highest level of fitness were *Jatropha curcas*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Piptadenia stipulacea*, *Mimosa schomburgkii* and *Ziziphus joazeiro*. The results of this study indicate that the use of mulch with carnauba mulch in multispecific reforestations is not justified, since the vast majority of species did not respond, or responded in a less intense way to this treatment. Based on the VCR index, 16 species with high or very high suitability for use in the revegetation of sludge deposits or other areas impacted by oil exploration and production in the Caatinga biome are indicated. The proposed VCR index is a new tool for the selection of species for the recovery of degraded areas in the Caatinga and also applicable to other regions.

**Keywords:** Vale do Açu; semiarid; gravel mining; reforestation; selection of native species.

## 6. INTRODUÇÃO

O Bioma Caatinga apresenta algumas características bem peculiares sendo o regime de chuvas uma das mais marcantes. Este varia de 300 mm a 700 mm anuais, podendo alcançar até 100 mm em um único dia. A sazonalidade das chuvas também é inconstante, com chuvas em meses diferentes, se prolongando por períodos incertos e por vezes encerrando em meses diferentes do ocorrido de anos anteriores (GARIGLIO; SAMPAIO; CESTARO; KAGEYAMA, 2010).

Essa grande variação nos eventos pluviométricos, juntamente com os diferentes tipos de solo registrados nesse bioma, explicam as várias fisionomias vegetais encontradas na Caatinga que podem ir desde florestas altas secas com os indivíduos chegando a 20 m de altura, a locais com afloramentos rochosos com a presença de arbustos baixos, esparsos e espalhados (cactos e bromélias) (ANDRADE-LIMA, 1964b). Em algumas regiões dos tabuleiros podem ocorrer vegetação característica de cerrado, enquanto nos topos das serras podem ocorrer florestas úmidas perenifólias ou semidecíduas com formações de florestas secas nas encostas (ANDRADE-LIMA, 1964b).

Essa existência de fisionomias vegetais antagônicas acaba sendo um entrave para elaboração de projetos que visam a recuperação de áreas degradadas, pois a seleção de espécies aptas a serem utilizadas na revegetação deve ser de acordo com as que existam na região. Esse fato faz com que, muitas vezes, os projetos de recuperação utilizem espécies inapropriadas, seja por falta de informação ou por indisponibilidade de mudas das espécies desejáveis no mercado.

A recuperação de ambientes degradados pela atividade de exploração de produção de Petróleo e gás natural acaba sendo mais complexa. Isso porque essa atividade realiza a retirada de todo solo superficial, onde estão presentes propágulos e sementes das espécies vegetais e a remoção de camadas mais profundas de solo, muitas vezes chegando até ao horizonte C para a exploração da piçarra (material utilizado para construção de estradas e bases de poço). Essas características demandam espécies que apresentem condições adequadas e que suportem ambientes com características tão peculiares quanto às existentes nessas jazidas e outras locações operacionais. Alguns autores afirmam que as espécies mais adequadas para esses ambientes degradados são as que apresentam altas taxas de crescimento e sobrevivência e que promovam o rápido recobrimento do solo para ajudar na proteção contra erosão, produção de matéria orgânica e recrutamento de novas espécies durante o processo de sucessão ecológica (RESENDE & CHAER, 2010).

Conhecer as principais características das espécies como resistência a longos períodos de seca, velocidade de crescimento e características silviculturais gerais delas pode garantir o sucesso de projetos de reflorestamento. Da mesma forma, priorizar espécies nativas pode ser fundamental, pois assim pode-se garantir a preservação da espécie na região e voltar o equilíbrio do ecossistema com a maior semelhança possível do estágio anterior à degradação (LIMA, 2004).

O estudo realizado por Lima et al (2015) é o único realizado até então com objetivo de selecionar espécies que apresentem condições de crescer e desenvolver em jazidas de extração de piçarra na Caatinga. Porém, dentre as 20 espécies avaliadas em cinco jazidas de piçarra, os autores concluíram que apenas 7 se mostraram aptas para uso na revegetação desses ambientes.

Por conta disso, esse estudo teve como principal objetivo avaliar o estabelecimento de 33 espécies arbóreas nativas e naturalizadas do bioma Caatinga visando ampliar o rol de espécies recomendadas por Lima et al (2015) para a recuperação de áreas degradadas por atividades relacionadas à produção e exploração de petróleo e gás natural em terra. Para definir o grau de aptidão de cada espécie, foi proposto o índice de valor de conservação e restauração (VCR), o qual considera tanto aspectos ligados à adaptação e crescimento da espécie nas condições estudadas, quanto o valor ecológico de conservação da espécie para a região ou

bioma em questão. Paralelamente, objetivou-se também avaliar o efeito de cobertura morta de palha de carnaúba (palha residual da extração da cera dessa espécie) sobre a sobrevivência e desenvolvimento das 32 espécies testadas.

## 6.1 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1.1 Caracterização da área de estudo

Os locais de estudo compreendem locações operacionais desativadas que foram utilizadas na exploração e produção de petróleo e gás natural do Rio Grande do Norte, especificamente nos municípios de Pendências-RN e Assú-RN.

O estudo foi conduzido em quatro locações operacionais desativadas, sendo duas jazidas de exploração de piçarra, uma central de resíduos e uma base de poço (Tabela 1 e Figura 1). As centrais de resíduos são áreas escavadas e impermeabilizadas com manta para recepção de cascalhos de perfuração de outros locais. Quando essas centrais estão cheias, elas recebem uma camada de aproximadamente três metros de piçarra sobre a qual deve-se promover a revegetação. As bases de poço são áreas de aproximadamente 4.000 m<sup>2</sup> terraplenadas com piçarra para a realização da perfuração do poço e instalação das estruturas de bombeamento de petróleo. Já as jazidas de piçarra são áreas de 2 a 10 ha de onde a piçarra é retirada de profundidades que variam de 2 a 15 m.

**Tabela 1.** Identificação e localização das áreas de estudo localizadas em locações operacionais desativadas, anteriormente utilizadas em atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN.

Área	#bloco	Coordenadas Geográficas	Município
Jazida J-118	1	5°24'S; 36°53'O	Assú-RN
Central de resíduos	2	5°24'S; 36°54'O	Assú-RN
Base de poço	3	5°21'S; 36°54'O	Assú-RN
Jazida J-111	4	5°15'S; 36°34'O	Pendências-RN



**Figura 1.** Vista geral das áreas de estudo localizadas em locações operacionais desativadas utilizadas em atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural do Rio Grande do Norte: jazida J-118 (A), central de resíduos (B), base de poço (C) e jazida J-111 (D).

A vegetação no entorno das áreas de estudos, de acordo com a classificação de caatingas de Prado (2003), é enquadrada como unidade II, sendo predominante os gêneros *Caesalpinia*, *Spondias*, *Commiphora* e *Aspidosperma* e sua fisionomia como de floresta de caatinga média (inventário realizado no entorno das áreas de estudo).

Antes da instalação dos experimentos foi realizada uma coleta de solo na profundidade de 0-20 cm para determinação dos atributos químicos do solo. Em cada área foram coletadas três amostras compostas de seis amostras simples cada em novembro de 2016. Elas foram peneiradas após a coleta (ainda no campo) em peneira com malha de 4 mm e depois armazenadas em sacos plásticos identificados e encaminhadas para análises de fertilidade do solo e textura (Tabelas 2 e 3).

**Tabela 2.** Caracterização química das quatro áreas de estudo localizadas em locações operacionais desativadas utilizadas em atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN.

Área	pH (H <sub>2</sub> O)	N %	P ..... mg/L .....	K .....	Ca <sup>2+</sup> .....	Mg <sup>2+</sup> .....	Al <sup>3+</sup> cmol/dm <sup>3</sup> .....	(H+AL) .....	CTC	V%
Jazida J-118	8,7	0,22	81,9	140	6,0	1,9	0,0	0,0	8,26	100
Central de resíduos	6,5	0,19	3,4	160	2,3	0,9	0,0	0,2	3,81	95
Base de poço	5,3	0,14	1,1	133	1,3	0,8	0,3	2,0	4,44	55
Jazida J-111	5,3	0,24	1,3	49	2,2	3,5	1,2	3,3	9,12	64

**Tabela 3.** Conteúdos de areia+silte e argila e classificação textural das quatro áreas de estudo localizadas em locações operacionais desativadas utilizadas em atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN.

Área	Areia+silte g/kg	Argila g/kg	Classificação textural
Jazida J-118	792	208	média
Central de resíduos	730	270	média
Base de poço	792	208	média
Jazida J-111	678	322	média

O clima da região é classificado como semiárido e, de acordo com Köppen, é do tipo BSh', sendo muito seco e muito quente, com duas estações bem definidas. A característica principal é uma longa estação seca com chuvas torrenciais em períodos irregulares (RIZZINI, 1997). A pluviosidade média histórica no município de Mossoró, RN (vizinho aos municípios das localidades estudadas) no período de 1900 a 2010 foi de 685 mm (SOBRINHO et al., 2011), com chuvas se concentrando entre o terceiro e o sexto mês do ano. Porém, nos últimos 6 anos a média anual de precipitação foi inferior a 350 mm.

## 6.2 Delineamento experimental

O experimento foi instalado em duas etapas de plantio, conforme a disponibilidade de mudas das diferentes espécies. O primeiro plantio ocorreu em junho de 2017 e o segundo em março ou junho de 2018, totalizando em ambos os períodos 33 espécies de porte arbustivo/arbóreo nativas e naturalizadas da Caatinga (Tabela 4). Desse modo, considerou-se o experimento um delineamento experimental em parcelas subdivididas, com 32 tratamentos (espécies) dispostos em parcelas, e dois tratamentos, com e sem aplicação de cobertura morta com palha de carnaúba, em subparcelas. Cada uma das quatro áreas de estudo constituiu um bloco experimental.

**Tabela 4.** Espécies nativas e naturalizadas da Caatinga utilizadas no estudo em locações operacionais desativadas utilizadas em atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN.

Nome científico	Nome vulgar	Data de plantio
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	Cumaru	julho/2017
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Caju	julho/2017
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico-vermelho	julho/2017
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.	Pereiro	julho/2017
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	Mororó	julho/2017
<i>Cenostigma pyramidale</i> (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis var. <i>pyramidale</i>	Catingueira	julho/2017
<i>Cereus jamacaru</i> DC.	Mandacaru	junho/2018
<i>Copernicia prunifera</i> (Mill.) H.E.Moore	Carnaúba	junho/2018
<i>Enterolobium timbouva</i> Mart.	Orelha-de-macaco	julho/2017
<i>Erythrina velutina</i> velutina Willd.	Mulungu	junho/2018
<i>Guilandina bonduc</i> L.	Jucá-bonduc	julho/2017
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Ipê-roxo	julho/2017
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	julho/2017
<i>Jatropha curcas</i> L.	Pinhão-manso	julho/2017
<i>Libidibia ferrea</i> var. <i>leiostachya</i> (Benth.) L.P.Queiroz	Pau-ferro	julho/2017
<i>Microdesmia rigida</i> (Benth.) Sothers & Prance	Oiticica	julho/2017
<i>Mimosa schomburgkii</i> schomburgkii Benth.	Monjoleiro	março/2018
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	Sabiá	julho/2017
<i>Mimosa laticifera</i> Rizzini & A.Mattos	Jurema-de-espinho	julho/2017
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema-preta	julho/2017
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira	julho/2017
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Turco	junho/2018*
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Canafístula	julho/2017
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema-branca	julho/2017
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	Catanduva	junho/2018**
<i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.-Hil., Juss. & Cambess.) A.Robyns	Embiratanha	julho/2017
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	Unha-de-gato	julho/2017
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S.Irwin & Barneby	Cássia-do-nordeste	julho/2017
<i>Spondias tuberosa</i> Arruda	Umbu	julho/2017
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	Caraibeira	julho/2017
<i>Triplaris gardneriana</i> Wedd.	Pajeú	julho/2017
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Joazeiro	março/2018*

\*Plantado em março/2018 na jazida J118 e base de poço. \*\*Plantado em março/2018 na Central de resíduos

Cada parcela foi delimitada em uma área de 20 m por 9 m, sendo que em cada uma delas foi realizado o plantio de 27 indivíduos de uma espécie dispostos em três linhas de nove plantas no espaçamento 3 m por 2 m. A subparcela com aplicação da palha de carnaúba ocupou uma das três linhas de nove plantas, enquanto a subparcela controle ocupou as outras duas linhas.

Os berços de plantio foram abertos com o auxílio de motocoveadora com broca acoplada, cavadeiras articuladas e cavadeiras de ferro. Os berços foram abertos nas dimensões

de 0,4 m por 0,4 m de largura x 0,4 m de profundidade. Foi realizada adubação química com 50 g de superfosfato simples e 10 g de FTE BR12 (coquetel de micronutrientes composto por Mo, B, Zn, Cu e Mn) por berço. A adubação foi complementada com 1,5 l de composto orgânico por berço. Por fim, cada berço recebeu 1,5 l de gel de plantio (condicionador de solo, também denominado hidrogel, que absorve e retém grandes quantidades de água e disponibiliza para o meio de forma lenta). A figura 2 apresenta imagens das etapas desde a abertura dos berços até o plantio das mudas.

As mudas utilizadas foram adquiridas de viveiro comercial, tendo sido produzidas em sacolas plásticas e estando com altura mínima de 30 cm no momento do plantio.

Devido ao fato de a instalação do experimento ter sido realizada no final do período de chuvas (junho), para garantir o estabelecimento das plantas, foram realizadas irrigações semanais durante os quatro primeiros meses após o plantio. A água de irrigação foi provida por um caminhão pipa contendo mangueiras acopladas para irrigação direta ou enchimento de baldes (Figura 3). Em cada evento de irrigação, cada planta recebeu aproximadamente sete litros de água.



**Figura 2.** Abertura dos berços de plantio sendo realizada com auxílio de motocoveadora (A) e cavadeiras articuladas e de ferro (B). Aplicação de composto orgânico (C) e hidrogel (D). Mudanças sendo dispostas nos berços de plantio (E) e visão geral da área plantada (F).



**Figura 3.** Irrigação realizada semanalmente durante os quatro primeiros meses do experimento para garantir a sobrevivência inicial e estabelecimento das plantas. Jazida J-111, Pendências, RN.

A aplicação da palha de carnaúba foi realizada 30 dias após o plantio das mudas em campo. Foi aplicado aproximadamente 10 litros do material na coroa de cada planta em um raio de aproximadamente 30 cm (Figura 3). A palha de carnaúba, localmente denominada de paú ou bagana de carnaúba, constitui-se em um resíduo proveniente da extração da cera de carnaúba, atividade econômica comum na região. Os teores de macro e micronutrientes contidos no material, obtidos após digestão nitro-perclórica, são apresentados na tabela 5.



**Figura 4.** Aplicação da palha de carnaúba (A) e detalhe após a aplicação (B). Jazida J-111, Pendências, RN.

**Tabela 5.** Teores de macro e micronutrientes presentes na palha de carnaúba.

Macronutrientes					Micronutrientes				
Ca	Mg	K	P	N	Fe	Mn	Cu	Zn	B
..... g kg <sup>-1</sup> .....				g kg <sup>-1</sup>	..... mg kg <sup>-1</sup> .....				
7,1	2,3	9,6	1,3	25	1320	115	11,2	29,3	51,8

### 6.3 Avaliações

O experimento foi monitorado durante 629 dias, a partir de campanhas de campo com regularidade semestral, sendo a primeira delas realizada cerca de 30 dias após o plantio. As campanhas foram sempre realizadas ao final da estação seca e da estação chuvosa, quando foram anotadas medidas de crescimento e sobrevivência das plantas.

Entre a quarta e a quinta avaliação do experimento a precipitação na região foi acima da média registrada nos anos anteriores o que causou o alagamento de parte da área J-111 (Figura 5). Esse alagamento perdurou praticamente durante todo o período entre as duas avaliações (entre os meses de janeiro de 2019 a julho do mesmo ano), devido à deficiência de drenagem na área onde o experimento foi instalado. Por conta disso, algumas espécies tiveram seu crescimento e sua sobrevivência afetadas, especialmente *Anadenanthera colubrina*, *Cenostigma pyramidale*, *Mimosa laticifera* e *Piptadenia stipulacea*. Como foi um evento atípico, optou-se por utilizar apenas as medidas de crescimento e sobrevivência dessas espécies das avaliações realizadas anteriormente ao evento, ou seja, até os 18 meses após o plantio.



**Figura 5:** Setor da jazida J-111 parcialmente alagada após eventos de precipitação ocorridos entre a quarta e quinta avaliação do experimento (maio de 2019).

#### 6.3.1 Crescimento e sobrevivência das espécies arbóreas

O estabelecimento e crescimento das plantas foi monitorado através de medições semestrais da altura total (utilizando vara telescópica graduada e trena), da área de copa (utilizando vara telescópica e trena) e da taxa de sobrevivência (Figura 6 A e B). Foi calculada também a taxa de crescimento das espécies em cada tratamento.



**Figura 6.** Mensuração da altura (A) e área de copa (B) de um indivíduo de *Enterolobium timbouva* utilizando trena. Jazida J-118, Assú, RN.

A variável dendrométrica altura foi transformada em taxa de crescimento através da subtração do valor da altura encontrada na última medição, pelo valor da mesma variável encontrada na primeira medição. Este resultado foi dividido pelo tempo em dias entre as duas medições e multiplicado por 30 para que se obtivesse o valor da taxa de crescimento expressa em  $\text{cm.mês}^{-1}$ , conforme a fórmula abaixo.

$$\text{Taxa de crescimento} = \left( \left( \frac{(\text{Altura média final} - \text{Altura média inicial})}{(\text{Data } t4 - \text{Data } t0)} \right) * 30 \right)$$

Onde:

Altura média inicial: altura mensurada três meses após o plantio.

Altura média final: altura mensurada 24 meses após o plantio.

Data t0: data da primeira medição.

Data t4: data da última medição.

A área de copa das plantas foi obtida pela tomada de duas medidas, sendo uma na posição norte-sul e outra na posição leste-oeste. Para a transformação dessas medidas em área de copa foi utilizada a fórmula da elipse, onde o raio maior é multiplicado pelo raio menor. Como as medidas foram obtidas em centímetros, o resultado final dessa operação foi dividido por 100 e posteriormente multiplicado por  $\pi$ , para obtenção do valor final em  $\text{m}^2$ , como demonstrado pela fórmula abaixo:

$$\text{Área de copa} = \left\{ \frac{\left( \frac{M 1}{2} \right) * \left( \frac{M 2}{2} \right)}{100} \right\} * \pi$$

Onde:

M 1: medida na posição norte-sul, dividido por dois para obtenção do raio 1.

M 2: medida na posição leste-oeste, dividido por dois para obtenção do raio 2.

Com relação a variável sobrevivência foi contabilizado o número de indivíduos ao final das avaliações de campo para se obter a taxa de sobrevivência que foi transformada em porcentagem conforme demonstrado pela fórmula abaixo:

$$\text{Taxa de sobrevivência} = \left\{ \frac{(Ns) * 100}{Np} \right\}$$

Onde:

Ns: número de mudas que sobreviveram na última avaliação.

Np: número de mudas plantadas no início do experimento.

### 6.3.2 Valor de Conservação (VC)

O Valor de Conservação (VC) foi proposto originalmente por Brancalion; Rodrigues; Gandolfi (2015) com o objetivo de facilitar a seleção de espécies prioritárias para serem utilizadas em projetos de recuperação de áreas degradadas. Esse método também permite diminuir a subjetividade com que muitos projetos fazem a seleção de espécies potenciais para a recuperação. Assim, o VC pode ser utilizado para identificar e ranquear as espécies presentes na região fitogeográfica onde o projeto será desenvolvido através do somatório de notas que variam de 2 a 8 atribuídas a quatro parâmetros pré-estabelecidos. Para a utilização nessa tese, o VC teve algumas adaptações da versão original. No parâmetro “raridade da espécie”, que na versão original leva em consideração os dados publicados no livro Plantas Raras do Brasil, foi levado em consideração os dados de inventário realizado no entorno das áreas de estudo e a frequência com que as espécies testadas ocorriam na área. Para o parâmetro “endemismo” foram consideradas apenas as classes endêmica e não-endêmica ao bioma Caatinga, enquanto na versão original existiam três classes (não-endêmica, endêmica ao bioma e endêmica à formação fitogeográfica). Já o parâmetro “tamanho da semente” levou-se em consideração o número de sementes por quilo (quanto menor o número de sementes por quilo, maior o tamanho da semente), enquanto na versão original foram utilizados apenas o tamanho das sementes das espécies zoocóricas, divididas em quatro classes. A seguir são detalhados os quatro parâmetros e suas respectivas classes utilizados para o cálculo do VC:

1. Status de conservação: diz respeito às nove categorias existentes na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas, catálogo criado pela União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN) sobre o estado de conservação de espécies de plantas, animais, fungos e protozoários de todo o planeta. Para o presente estudo foram utilizadas as classes pouco preocupantes – LC; quase ameaçada – NT; vulnerável – VU e em perigo – EN, as quais as espécies utilizadas nesse estudo se enquadraram. Quanto maior o grau de vulnerabilidade, maior foi a nota atribuída (Tabela 6).
2. Raridade da espécie: com base em dados de inventários florísticos realizados no entorno das áreas de estudo (BOTREL et. al., 2019), foram definidas três classes de raridade (baixa, média e alta) de acordo com o índice de valor de importância (IVI) de cada espécie na área, conforme tabela 7. Espécies com IVI elevados receberam notas mais elevadas (Tabela 6). Espécies não encontradas nos inventários florísticos receberam nota correspondente ao IVI baixo.
3. Endemismo: foram estabelecidas duas classes de endemismo: não endêmica ao bioma e endêmica ao bioma. Para a classificação das espécies em função do endemismo foi utilizado o banco de dados no site Flora do Brasil 2020 (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/PrincipalUC/PrincipalUC.do;jsession>

[nid=CFE1F4E6183E72F6A1238E0F2BE730FF#CondicaoTaxonCP](#)). Espécies classificadas como endêmicas à Caatinga receberam a maior nota (Tabela 6);

4. **Tamanho das sementes:** as sementes de cada espécie foram classificadas em pequena, média, grande e muito grande. A classificação levou em consideração a quantidade de sementes obtidas em um quilo da espécie. Assim, na classe de sementes pequenas foram consideradas as espécies com número de sementes por quilo igual ou maior que 20.000 unidades. Para a classe média o número de sementes por quilo variou de 1.500 a 19.999 unidades. A classe grande variou de 500 a 1.499 unidades de semente por quilo e por fim, na classe muito grande foram enquadradas as espécies que apresentavam número inferior que 500 unidades por quilo de semente. Quanto maior a classe de tamanho de semente da espécie, maior foi a nota atribuída a esse parâmetro (Tabela 6).

Cada espécie recebeu uma pontuação de 2 a 8 para cada parâmetro, sendo o VC obtido pelo somatório das notas atribuídas aos parâmetros e dividido por quatro (número de parâmetros utilizados). Sendo assim, o VC pode variar de 2 (somatório mínimo, dividido por quatro) a 8 (somatório máximo, dividido por quatro). O somatório final foi obtido através dos parâmetros utilizados para VC para as 32 espécies estudadas nas quatro áreas de estudo.

**Tabela 6.** Parâmetros, níveis e respectivas notas utilizadas para calcular o índice de valor de conservação (VC) (adaptado de Brancalion; Rodrigues; Gandolfi, 2015).

Status de conservação	Nota	Raridade	Nota	Endemismo	Nota	Tamanho da semente	Nota
Pouco preocupante (LC)	2					Pequena (>20000 um/kg)	2
Quase ameaçada (NT)	4	IVI baixo	2	Não endêmica	2	Média (1500-19.999 um/kg)	4
		IVI médio	5				
Vulnerável (VU)	6	IVI alto	8	Endêmica ao bioma	8	Grande (500 -1499 un/kg)	6
Em perigo (EN)	8					Muito grande (<499 um/kg)	8

**Tabela 7.** Índice de valor de importância (IVI) das espécies presentes no estudo e que foram encontradas no inventário realizado no entorno das jazidas J-111 (Pendências, RN) e J-118 (Assú, RN)

Nome Científico	Nome Comum	VI (%)
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & RW Jobson	Catanduva	27.5
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	Catingueira	15.2
<i>Aspidosperma pyriforme</i> Mart.	Pereiro	11.2
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema branca	4.2
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema preta	2.6
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C. Sm.	Cumarú	1.8
<i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil. Juss. & Cambess.) A. Robyns	Embiratanha	0.9
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira	0.8
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. Ex DC.) Mattos	Ipê roxo	0.8
<i>Bauhinia forficata</i> Link	Mororó	0.6
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P Queiroz var.	Jucá	0.4
<i>Senegalia</i> sp.	Unha de gato	0.2

### **6.3.3 Valor de Restauração (VR)**

Para a classificação e ranqueamento das espécies florestais com relação à capacidade de estabelecimento e crescimento em campo foi proposto o índice Valor de Restauração (VR) definido a partir de três parâmetros: 1. área de copa; 2. taxa de crescimento mensal e 3. taxa de sobrevivência, cada um deles dividido nas classes baixa, média, alta e muito alta. Essas classes levaram em consideração as estatísticas de crescimento e de sobrevivência das espécies plantadas. Assim, as 4 classes foram definidas conforme adaptação de Salomão et al. (2014), conforme os seguintes critérios:

1. Classe baixa (nota 2): valores de VR menores que um desvio padrão da média;
2. Classe média (nota 4): valores de VR menores que a média até um desvio padrão da média;
3. Classe alta (nota 6): valores de VR maiores que a média até um desvio padrão da média;
4. Classe muito alta (nota 8): valores de VR maiores que um desvio padrão da média.

Portanto, assim como no VC, as notas das classes de cada parâmetro variaram de 2 a 8, com os maiores valores atribuídos às maiores classes de taxa de crescimento, diâmetro de copa e taxa de sobrevivência. O VR foi obtido pelo somatório das notas dos 3 parâmetros e esse valor foi dividido por 3 (número de parâmetros), para se obter o VR também entre 2 e 8.

### **6.3.4 Valor de Conservação e Restauração (VCR)**

De modo a obter-se um índice único que expresse ambos os conceitos de VC e VR, foi proposto o Valor de Conservação e Restauração (VCR). O VCR é obtido pela média dos valores encontrados para VC e VR.

Com base no VCR as 32 espécies avaliadas foram classificadas como baixa, média, alta e muito alta aptidão para serem utilizadas em projetos de recuperação de áreas degradadas por exploração e produção de petróleo e gás natural na Caatinga. As espécies foram classificadas com baixa aptidão quando VCR foi inferior à média geral das espécies menos um desvio padrão; classificadas como média quando VCR foi maior que a média menos um desvio padrão, porém menor que a média; classificadas com alta aptidão quando VCR foi superior à média geral e inferior à média mais um desvio padrão; e classificadas com muito alta aptidão quando VCR foi superior à média mais um desvio padrão. Essas classes levaram em consideração as estatísticas de crescimento e de sobrevivência das espécies plantadas e as características delas no ambiente. Assim, as 4 classes foram definidas conforme adaptação de Salomão et al. (2014), conforme os seguintes critérios:

1. Classe baixa (nota 2): valores de VCR menores que um desvio padrão da média;
2. Classe média (nota 4): valores de VCR menores que a média até um desvio padrão da média;
3. Classe alta (nota 6): valores de VCR maiores que a média até um desvio padrão da média;
4. Classe muito alta (nota 8): valores de VCR maiores que um desvio padrão da média.

Portanto, assim como no VC e VR, as notas das classes de cada parâmetro variaram de 2 a 8. O VCR foi obtido pela média das notas do VC e VR, para se obter o VCR também entre 2 e 8.

### **6.3.5 Análise dos dados**

Os dados obtidos para cada espécie foram analisados separadamente em função da aplicação ou não de palha de carnaúba para saber se houve diferença estatística entre os tratamentos para as variáveis resposta taxa de crescimento, área de copa e percentual de

sobrevivência. Esses dados foram analisados através da análise de variância (ANOVA), utilizando-se modelos de efeitos mistos (MEM) (ZUUR et al., 2009). Para as variáveis explanatórias considerou-se o efeito de blocos como fator aleatório, enquanto os efeitos de tratamento foram considerados como fatores fixos na estrutura dos modelos avaliados. Posteriormente, as médias das variáveis, dentro de cada idade, foram comparadas pelo teste T ( $p < 0,05$ ). Essas análises foram conduzidas no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018), utilizando-se os pacotes *lme4* (BATES, 2015) e *lsmeans* (LENTH, 2016).

Os dados também foram analisados através de árvores de classificação e regressão (CART models - BREIMAN et al., 1984), sendo essa técnica utilizada para modelagens de precisão de atributos discretos e contínuos. Sumariamente, o modelo CART constitui uma árvore binária onde a variável resposta é dividida em subconjuntos com base em suas relações com as variáveis exploratórias. Para as análises, foi utilizado o pacote *rpart* disponível no ambiente R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018).

## 6.2 RESULTADOS

### 6.2.1 Crescimento e sobrevivência das espécies

A taxa de crescimento em altura das espécies *Anadenanthera colubrina*, *Hymenaea courbaril* e *Senna spectabilis* foi significativamente maior quando houve a aplicação de palha de carnaúba (3.85 cm.mês<sup>-1</sup>, 1.11 cm.mês<sup>-1</sup> e 3.03 cm.mês<sup>-1</sup> respectivamente) quando comparada ao tratamento sem aplicação desse resíduo (2.32 cm.mês<sup>-1</sup>, 0.68 cm.mês<sup>-1</sup> e 1.99 cm.mês<sup>-1</sup>, respectivamente) ( $p < 0,05$ ). As demais 29 espécies não tiveram alterações significativas na taxa de crescimento em função da aplicação dessa cobertura morta (Tabela 8).

Quando analisado o crescimento em altura entre as espécies, as maiores taxas ocorreram para *Senegalia polyphylla*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Mimosa tenuiflora*, *Pityrocarpa moniliformis* e *Peltophorum dubium* (Tabela 8). As espécies que apresentaram as menores taxas de crescimento foram *Pseudobombax marginatum* e *H. courbaril*.

Sete das 33 espécies analisadas responderam à aplicação de palha de carnaúba como cobertura morta, quando considerada a variável área de copa. Cinco destas responderam positivamente à cobertura morta (*Anadenanthera colubrina*, *Bauhinia cheilantha*, *Copernicia prunifera*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Senna spectabilis*) e duas negativamente (*Libidibia ferrea* e *Tabebuia aurea*) (Tabela 8).

A área de copa variou bastante entre as espécies avaliadas, apresentando uma variação de 4 a 9 m<sup>2</sup> para *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa caesalpinifolia* e *Piptadenia stipulacea* para alguns poucos centímetros, como em *Cereus jamacaru*, *Amburana cearensis* e *Aspidosperma pyrifolium*. Para algumas espécies como *Pseudobombax marginatum*, sequer foi possível medir a área de copa, pois apresentavam apenas o eixo vegetativo principal desprovido de folhas no momento da medição devido à perda de toda a parte aérea devido à característica senescência e perda de folhas durante o período de déficit hídrico (Tabela 8).

A aplicação de palha de carnaúba não influenciou significativamente a sobrevivência da maioria das espécies avaliadas. As exceções foram *Peltophorum dubium* e *Pseudobombax marginatum*, que apresentaram maior sobrevivência com aplicação de palha (65% e 89%, respectivamente) em comparação ao tratamento sem palha (30% e 85%, respectivamente), e a *Libidibia ferrea* que, ao contrário, apresentou menor sobrevivência com palha (81%) em comparação ao tratamento sem palha (96%) (Tabela 8).

Considerando todas as 33 espécies, as taxas de sobrevivência variaram de percentuais entorno de 20% para *Erythrina velutina* e *Anacardium occidentale* até percentuais próximos 100% como para *Tabebuia aurea*, *Ziziphus joazeiro*, *Mimosa schomburgkii* e *Mimosa caesalpinifolia* (Tabela 8).

**Tabela 8.** Médias da taxa de crescimento em altura, área de copa e taxa de sobrevivência das 33 espécies florestais testadas em função da aplicação ou não de cobertura morta de palha de carnaúba (BC), 24 meses após o plantio realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN.

Espécie	Taxa de crescimento (cm.mês <sup>-1</sup> )		Área de copa (m <sup>2</sup> )		Sobrevivência (%)	
	Com BC	Sem BC	Com BC	Sem BC	Com BC	Sem BC
<i>Amburana cearensis</i>	2.05	0.95	0.33	0.21	22	64
<i>Anacardium occidentale</i>	3.67	4.34	1.00	1.38	25	25
<i>Anadenanthera colubrina</i>	3.85*	2.32	0.74*	0.39	67	62
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	1.67	1.34	0.23	0.21	78	87
<i>Bauhinia cheilantha</i>	1.65	1.63	0.27*	0.23	28	25
<i>Cenostigma pyramidale</i>	1.77	1.63	0.45	0.51	72	68
<i>Cereus jamacaru</i>	4.27	4.57	0.00	0.13	81	68
<i>Copernicia prunifera</i>	2.27	2.36	0.33*	0.31	92	92
<i>Enterolobium timbouva</i>	4.78	4.81	1.10	0.89	97	92
<i>Guilandina bonduc</i>	3.43	3.24	1.31	1.39	78	79
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	3.63	2.78	0.54	0.42	96	96
<i>Hymenaea courbaril</i>	1.11*	0.68	0.61	0.26	39	40
<i>Jatropha curcas</i>	4.08	4.11	0.55	0.54	97	94
<i>Libidibia ferrea</i>	4.10	4.31	1.04	1.70*	81	96*
<i>Microdesmia rigida</i>	4.82	3.70	1.09	0.94	56	69
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	8.36	8.12	7.71*	6.06	94	100
<i>Mimosa laticifera</i>	4.52	3.54	1.53	0.71	31	42
<i>Mimosa tenuiflora</i>	6.58	6.39	9.35	9.11	97	92
<i>Mimosa schomburgkii</i>	8.45	8.38	3.00	4.10	89	100
<i>Erythrina velutina</i>	2.97	2.41	0.52	0.72	22	18
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	1.68	1.78	0.62	0.93	94	75
<i>Parkinsonia aculeata</i>	3.48	4.39	1.41	2.37	78	81
<i>Peltophorum dubium</i>	6.23	5.10	0.79	0.76	65*	30
<i>Piptadenia stipulacea</i>	5.03	5.28	4.10	4.60	78	83
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	6.34	4.31	1.75	0.94	41	56
<i>Pseudobombax marginatum</i>	0.52	0.42	-	-	89*	85
<i>Senegalia polyphylla</i>	4.74	5.32	4.07	2.18	67	61
<i>Senna spectabilis</i>	3.03*	1.99	1.78*	0.68	50	49
<i>Spondias tuberosa</i>	2.21	1.92	0.52	0.55	78	93
<i>Tabebuia aurea</i>	4.95	4.50	0.37	0.47*	100	99
<i>Triplaris gardneriana</i>	2.60	3.01	1.14	0.96	77	94
<i>Ziziphus joazeiro</i>	3.84	4.10	0.39	0.37	100	75
Média geral	3.83	3.55	1.57	1.41	71	72

Para cada espécie e variável, o “\*” indica diferença entre o tratamento com palha de carnaúba e o tratamento sem essa cobertura morta ( $p < 0,05$ ). O “-” indica que a espécie não apresentava parte aérea no momento da avaliação devido à senescência das folhas no período de déficit hídrico.

As médias de altura, taxa de crescimento, área de copa e sobrevivência por área plantada (blocos) são apresentadas nos anexos 1 a 4.

Os dados também foram analisados por meio de modelos de árvore de classificação e regressão (modelos CART), os quais permitem identificar cada variável resposta obtida (taxa de crescimento, área de copa e sobrevivência) em função das fontes de variação existentes (espécie, cobertura morta e bloco). O modelo CART gerado para a variável taxa de crescimento classificou essa variável em quatro grupos, indicados por quatro médias representadas em

quatro nós terminais (Figura 7). A menor média (2,1 cm.mês<sup>-1</sup>) foi associada às espécies *Anadenanthera colubrina*, *Myracrodruon urundeuva*, *Copernicia prunifera*, *Senna spectabilis*, *Cenostigma pyramidale*, *Amburana cearensis*, *Pseudobombax marginatum*, *Handroanthus impetiginosus*, *Hymenaea courbaril*, *Mimosa laticifera*, *Guilandina bonduc*, *Bauhinia cheilantha*, *mulungu*, *Triplaris gardneriana*, *Aspidosperma pyriformium* e *Spondias tuberosa*. Uma taxa de crescimento média de 3,7 cm.mês<sup>-1</sup> foi associada às espécies *Anacardium occidentale*, *Enterolobium timbouva*, *Jatropha curcas*, *Libidibia ferrea*, *Microdesmia rigida*, *Peltophorum dubium*, *Piptadenia stipulacea*, *Senegalia polyphylla*, *Pityrocarpa moniliformis*, *Ziziphus joazeiro*, *Cereus jamacaru*, *Parkinsonia aculeata* e *Tabebuia aurea* quando plantadas nas áreas J-118, Central de Resíduos e Base de Poço. Entretanto, essas mesmas espécies foram associadas a uma taxa de crescimento médio de 6,2 cm.mês<sup>-1</sup> quando plantadas na jazida J-111. Por fim, a maior média de taxa de crescimento (7,5 cm.mês<sup>-1</sup>) foi associada às espécies *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Mimosa tenuiflora* e *Mimosa schomburgkii*, independente da área plantada (Figura 7). Nesse modelo, o fator “cobertura morta com palha de carnaúba” não foi relevante na classificação da taxa de crescimento.

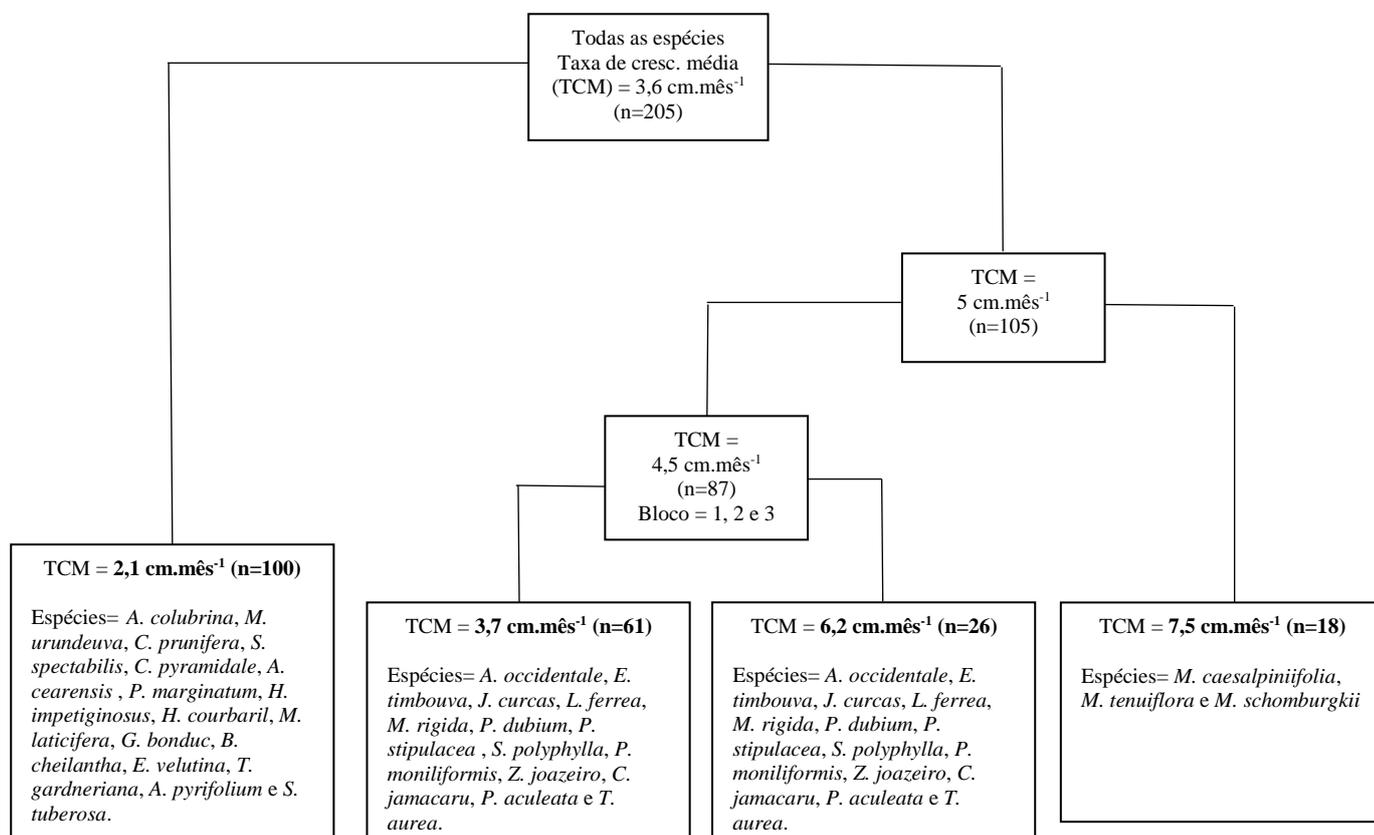
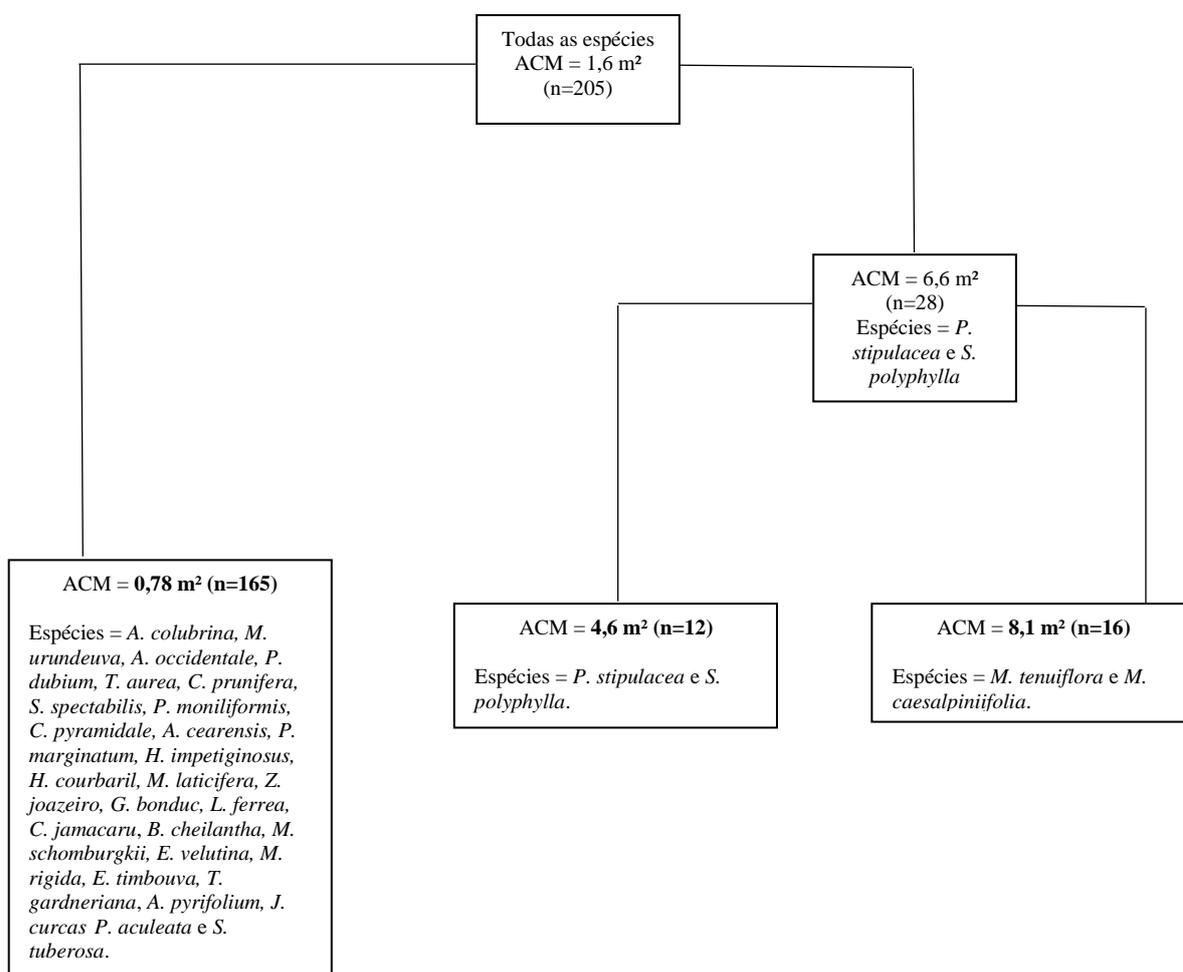


Figura 7: Modelo de árvore de classificação da variável taxa de crescimento em função das seguintes fontes de variação: espécie, área plantada (bloco) e cobertura morta de palha de carnaúba. Em cada nó terminal é apresentada a taxa de crescimento média (TCM) do grupo de espécies associado. Experimento realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN.

O modelo CART gerado para a variável área de copa classificou essa variável em três grupos, indicados por três médias representadas em três nós terminais (Figura 8). A menor média (0,78 m<sup>2</sup>) foi associada às espécies *A. colubrina*, *M. urundeuva*, *A. occidentale*, *P.*

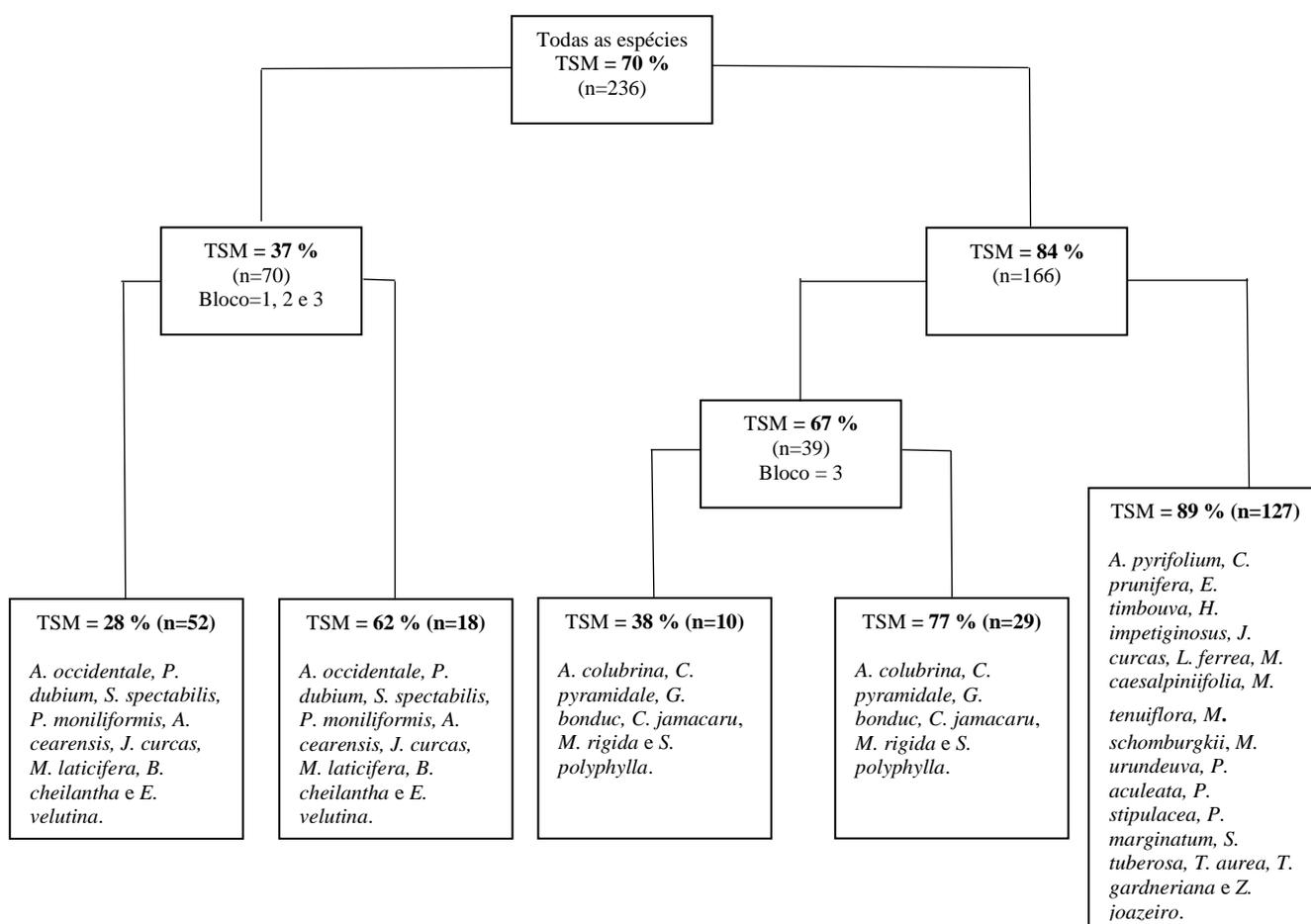
*dubium*, *T. aurea*, *C. prunifera*, *S. spectabilis*, *P. moniliformis*, *C. pyramidale*, *A. cearensis*, *P. marginatum*, *H. impetiginosus*, *H. courbaril*, *M. laticifera*, *Z. joazeiro*, *G. bonduc*, *L. ferrea*, *C. jamacaru*, *B. cheilantha*, *M. schomburgkii*, *E. velutina*, *M. rigida*, *E. timbouva*, *T. gardneriana*, *A. pyriformium*, *J. curcas*, *P. aculeata* e *S. tuberosa*. Uma área de copa média de 4,6 m<sup>2</sup> foi associada às espécies *P. stipulacea* e *S. polyphylla*. Por fim, a maior média de área de copa (8,1 m<sup>2</sup>) foi associada às espécies *M. tenuiflora* e *M. caesalpiniiifolia* (Tabela 10). Nesse modelo, os fatores “bloco” e “cobertura morta com palha de carnaúba” não foram relevantes na classificação da variável área de copa.



**Figura 8:** Modelo de árvore de classificação da variável área de copa em função das seguintes fontes de variação: espécie, área plantada (bloco) e cobertura morta de palha de carnaúba. Em cada nó terminal é apresentada a área de copa média (ACM) do grupo de espécies associado. Experimento realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN.

O modelo CART gerado para a variável sobrevivência classificou essa variável em cinco grupos, indicados por cinco médias representadas nos cinco nós terminais da árvore de classificação (Figura 9). A menor média (28%) foi associada às espécies *A. occidentale*, *P.*

*dubium*, *S. spectabilis*, *P. moniliformis*, *A. cearensis*, *J. curcas*, *M. laticifera*, *B. cheilantha* e *E. velutina*, quando foram plantadas nas áreas J-118, Central de Resíduos e Base de Poço. Entretanto, essas mesmas espécies foram associadas a uma sobrevivência média de 62% quando plantadas na jazida J-111. Uma sobrevivência média de 38% foi associada às espécies *A. colubrina*, *C. pyramidale*, *G. bonduc*, *C. jamacaru*, *M. rigida* e *S. polyphylla*, quando foram plantadas na área Base de Poço. Essas mesmas espécies foram associadas a uma sobrevivência média de 77% quando plantadas nas áreas J-118, Central de Resíduos e jazida J-111. A maior média de sobrevivência (89%) foi associada às espécies *A. pyrifolium*, *C. prunifera*, *E. timbouva*, *H. impetiginosus*, *J. curcas*, *L. ferrea*, *M. caesalpinifolia*, *M. tenuiflora*, *M. schomburgkii*, *M. urundeuva*, *P. aculeata*, *P. stipulacea*, *P. marginatum*, *S. tuberosa*, *T. aurea*, *T. gardneriana* e *Z. joazeiro* independente da área (Figura 9). Assim como para as variáveis de crescimento, o fator “cobertura morta com palha de carnaúba” não foi relevante na classificação da taxa de sobrevivência.



**Figura 9:** Modelo de árvore de classificação da variável taxa de sobrevivência (%) em função das seguintes fontes de variação: espécie, área plantada (bloco) e cobertura morta de palha de carnaúba. Em cada nó terminal é apresentada a taxa de sobrevivência média (TSM) do grupo de espécies associado. Experimento realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN.

### 6.2.2 Classes de aptidão e Valor de Restauração e Conservação

Para o valor de conservação (VC), quatro espécies apresentaram baixa aptidão (VC menor que a média menos um desvio padrão), representando 12,5% das espécies estudadas, com destaque para *Cenostigma pyramidale* e *Pityrocarpa moniliformis*, que apresentaram o

menor VC. Outras 18 espécies (57,6% do total) foram classificadas com aptidão média (VC maior que a média menos um desvio padrão e menor que a média). A classe de aptidão alta (VC maior que a média e menor que a média mais um desvio padrão) foi atribuída a três espécies (9,4% do total). Por fim, a classe de aptidão muito alta (VC maior que a média mais um desvio padrão) foi representada por sete espécies (21,9%), tendo a espécie *Jatropha curcas* o maior VC (Tabela 9).

Com relação ao valor de restauração (VR), cinco espécies (16%) foram classificadas como de baixa aptidão (critérios de corte similares aos adotados para VC) para projetos de reflorestamento na região de estudo. As espécies com menores VR foram *Bauhinia cheilantha*, *Amburana cearensis* e *Hymenaea courbaril*. A classe de aptidão média foi atribuída a 13 espécies (40,6%), sendo a classe de maior representatividade. Dentre o restante das espécies, dez espécies (31,2%) foram classificadas com aptidão alta e apenas quatro espécies (12,5 %) com aptidão muito alta, com destaque para a espécie *Mimosa caesalpinifolia* que teve o maior VR (Tabela 9).

Através da média entre o VC e VR foi gerado o VCR (Valor de Conservação e Restauração), o qual também foi usado para identificar as espécies em classes de aptidão conforme feito para os dois índices anteriores. Conforme o VCR, cinco espécies (15,6%) foram classificadas com aptidão baixa, com destaque para a espécie *Cenostigma pyramidale*. Onze espécies (34,4%) foram classificadas com aptidão média, e outras 11 na classe de aptidão alta. Por fim, cinco espécies (15,6%) foram classificadas com aptidão muito alta, destacando-se *Jatropha curcas*, espécie com maior VCR (Tabela 9).

**Tabela 9.** Notas e respectivas classes de aptidão atribuídas a 32 espécies arbóreas da Caatinga de acordo com os critérios valor de conservação (VC), valor de restauração (VR) e valor de conservação e restauração (VCR). As espécies foram ordenadas, com base no VCR, da classe de mais alta aptidão para a de menor aptidão. Experimento realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, nos municípios de Assú-RN e Pendências-RN.

Espécie	Família	VC	Aptidão VC	VR	Aptidão VR	VCR	Aptidão VCR
<i>Jatropha curcas</i>	Euphorbiaceae	6.0	Muito alta	6.00	Alta	6.00	Muito alta

<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	Fabaceae	3.5	Média	8.00	Muito alta	5.75	Muito alta
<i>Piptadenia stipulacea</i>	Fabaceae	4.8	Alta	6.67	Muito alta	5.71	Muito alta
<i>Mimosa schomburgkii</i>	Fabaceae	3.5	Média	7.33	Muito alta	5.42	Muito alta
<i>Ziziphus joazeiro</i>	Rhamnaceae	5.5	Muito alta	5.33	Alta	5.42	Muito alta
<i>Microdesmia rigida</i>	Chrysobalanaceae	5.5	Muito alta	4.67	Média	5.08	Alta
<i>Mimosa tenuiflora</i>	Fabaceae	2.8	Baixa	7.33	Muito alta	5.04	Alta
<i>Parkinsonia aculeata</i>	Fabaceae	4.0	Média	6.00	Alta	5.00	Alta
<i>Tabebuia aurea</i>	Bignoniaceae	4.0	Média	6.00	Alta	5.00	Alta
<i>Enterolobium timbouva</i>	Fabaceae	4.5	Alta	5.33	Alta	4.92	Alta
<i>Copernicia prunifera</i>	Arecaceae	5.0	Muito alta	4.7	Média	4.8	Alta
<i>Spondias tuberosa</i>	Anacardiaceae	5.0	Muito alta	4.7	Média	4.8	Alta
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Bignoniaceae	4.0	Média	5.3	Alta	4.7	Alta
<i>Libidibia ferrea</i>	Fabaceae	4.0	Média	5.3	Alta	4.7	Alta
<i>Senegalia polyphylla</i>	Fabaceae	4.0	Média	5.3	Alta	4.7	Alta
<i>Anacardium occidentale</i>	Anacardiaceae	5.0	Muito alta	4.0	Média	4.5	Alta
<i>Cereus jamacaru</i>	Cactaceae	3.5	Média	5.3	Alta	4.4	Média
<i>Peltophorum dubium</i>	Fabaceae	3.5	Média	5.3	Alta	4.4	Média
<i>Guilandina bonduc</i>	Fabaceae	4.0	Média	4.7	Média	4.3	Média
<i>Triplaris gardneriana</i>	Polygonaceae	4.0	Media	4.7	Média	4.3	Média
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Fabaceae	4.0	Media	4.0	Média	4.0	Média
<i>Pseudobombax marginatum</i>	Malvaceae	4.0	Média	4.0	Média	4.0	Média
<i>Hymenaea courbaril</i>	Fabaceae	5.0	Muito alta	2.7	Baixa	3.8	Média
<i>Mimosa laticifera</i>	Fabaceae	3.5	Média	4.0	Média	3.8	Média
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	Anacardiaceae	3.5	Média	4.0	Média	3.8	Média
<i>Senna spectabilis</i>	Fabaceae	3.5	Média	4.0	Média	3.8	Média
<i>Amburana cearensis</i>	Fabaceae	4.8	Alta	2.7	Baixa	3.7	Média
<i>Erythrina velutina</i>	Fabaceae	4.0	Média	3.0	Baixa	3.5	Baixa
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	Fabaceae	2.0	Baixa	4.7	Média	3.3	Baixa
<i>Bauhinia cheilantha</i>	Fabaceae	4.0	Média	2.7	Baixa	3.3	Baixa
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Apocynaceae	2.5	Baixa	4.0	Média	3.3	Baixa
<i>Cenostigma pyramidale</i>	Fabaceae	2.0	Baixa	3.3	Baixa	2.7	Baixa

## 6.3 DISCUSSÃO

### 6.3.1 Crescimento e sobrevivência das espécies

As espécies estudadas nesse trabalho são nativas e naturalizadas da Caatinga e, portanto, naturalmente adaptadas às condições adversas desse bioma. Isso pode explicar o pequeno número de espécies que apresentaram resposta à utilização de palha de carnaúba como cobertura morta. Muitas dessas espécies, para garantir a sobrevivência e crescimento em regiões com grandes períodos de seca, acabam não sofrendo tanto com a variação de água no solo (ANGELIM et al., 2007). Porém, vale destacar que as espécies *Anadenanthera colubrina* e *Senna spectabilis* tiveram resposta positiva na taxa de crescimento e área de copa com a aplicação de cobertura morta, indicando que para essas espécies a utilização de cobertura morta foi benéfica.

Outro ponto que merece destaque é que mesmo a cobertura morta não sendo determinante para um melhor crescimento e sobrevivência das espécies, ela também não prejudicou o crescimento e sobrevivência delas, com exceção de *Libidia ferrea* (maior crescimento em área de copa e sobrevivência no tratamento sem a aplicação de palha) e *Tabebuia aurea* (maior área de copa sem aplicação do resíduo). Gonçalves et al. (2018), trabalhando com papelão como mulching no coroamento de 11 espécies nativas na Mata Atlântica em comparação com o coroamento convencional (enxada), concluíram que o mulching de papelão também não afetou a taxa de crescimento após 18 meses de avaliação. Mesmo sendo um experimento desenvolvido em bioma diferente, o resultado desses autores vai ao encontro do observado nesse trabalho.

Sugere-se que mais estudos sejam realizados para avaliar a resposta à cobertura morta de outras espécies não avaliadas nesse estudo, uma vez que na literatura são poucos os trabalhos que mostram o crescimento e desenvolvimento das espécies da Caatinga utilizando cobertura morta. Ademais, o comportamento das espécies foi bastante variado indicando que a palha de carnaúba pode ser benéfica para algumas espécies, prejudicial, ou mesmo indiferente para outras.

Segundo Santos et al. (2012) a utilização de palha como cobertura morta no solo pode ajudar a diminuir a evapotranspiração das plantas. Eles afirmam ainda que essa estratégia pode ser muito vantajosa principalmente em regiões de climas áridos que tem aumentada a evapotranspiração das plantas por conta da alta radiação solar, associada a baixa umidade do ar.

A palha ou “bagana” de carnaúba, apesar de pouco conhecida em outras regiões do país, tem sido utilizada com êxito no nordeste brasileiro em diversas etapas de plantio de cultivares agrícolas, em etapas desde a germinação até o estabelecimento em campo, fazendo parte do substrato ou como cobertura morta (AMORIM et al, 2010; BEZERRA et al, 2010). Mas, vale ressaltar que os resultados encontrados em alguns trabalhos são contraditórios com relação aos benefícios do uso da palha. Filho (2016) avaliaram diferentes doses de hidrogel (0; 4,0; 5,0 e 6,0 g L<sup>-1</sup>) e de palha de carnaúba como mulching sobre o crescimento e estabelecimento de *Enterolobium contortisilliquum* no Ceará. O autor concluiu que o mulching aumentou a sobrevivência da espécie quando associado a doses de 4,0 e 5,0 g L<sup>-1</sup> de hidrogel. Em outro estudo, Pimentel (2013) testaram diferentes níveis de matéria orgânica (0, 15 e 30 L de esterco por cova), associado ou não com cobertura morta de palha de carnaúba, sobre o crescimento *Amburana cearensis* em sistema agroflorestral. Esse autor concluiu que o resíduo não melhorou o crescimento da espécie.

Em trabalho realizado por Souza (2017) foram avaliados indicadores de produção e de rentabilidade do sorgo forrageiro sob diferentes lâminas de irrigação (50; 75; 100; 125 e 150 % da evapotranspiração da cultura) associadas a diferentes camadas de cobertura morta com palha de carnaúba (0; 2,5; 3,75; 5,0 e 6,25 cm). Concluiu-se nesse estudo que a aplicação de palha

não favoreceu o crescimento das plantas, porém aumentou a produtividade da cultura independente da lâmina de irrigação.

A avaliação conjunta das espécies testadas nesse trabalho indicou que a utilização da palha de carnaúba não apresentou efeito (positivo ou negativo) no crescimento e sobrevivência delas. Entretanto, é possível que esse material possa beneficiar as espécies em um prazo mais longo que o avaliado, pois com sua decomposição pode fornecer nutrientes para as plantas (Tabela 5). Gonçalves (2017) avaliou o crescimento e sobrevivência de três espécies da Caatinga (*Vachelia farnesiana*, *Mimosa caesalpiniiifolia* e *Geoffroea spinosa*) utilizando a palha de carnaúba (T1 – sem adição; T2 – adição sobre a cova; T3 – adição misturada no interior da cova; T4 – adição de palha sobre a cova e mistura no interior da mesma). A autora concluiu que o T2 aumentou de forma significativa ( $p < 0,05$ ) a sobrevivência de todas as espécies.

O modelo CART gerado apresentou uma separação tanto para a taxa de crescimento quanto para a sobrevivência de algumas espécies relacionada ao fator “Bloco” (área de plantio). As espécies *A. occidentale*, *E. timbouva*, *J. curcas*, *L. ferrea*, *M. rigida*, *P. dubium*, *P. stipulacea*, *S. polyphylla*, *P. moniliformis*, *Z. joazeiro*, *C. jamacaru*, *P. aculeata* e *T. aurea* apresentaram melhor taxa de crescimento quando foram plantadas na área J-111; porém quando plantadas nas demais áreas essa taxa foi menor (quase metade da taxa encontrada na J-111). Adicionalmente, a taxa de sobrevivência das espécies *A. occidentale*, *P. dubium*, *S. spectabilis*, *P. moniliformis*, *A. cearensis*, *J. curcas*, *M. laticifera*, *B. cheilantha* e *E. velutina* foi maior na área J-111 que nas demais áreas. Esses fatos indicam a existência de fatores locais, possivelmente associados à qualidade química e física do substrato (piçarra) (Tabelas 2 e 3), que influenciaram o desenvolvimento das plantas.

A quantidade de argila em cada área pode ser um fator que tenha favorecido o maior crescimento e sobrevivência das espécies na J-111 em detrimento das demais áreas, uma vez que nessa área esse percentual é maior, o que proporciona melhor capacidade de retenção e armazenamento de água no solo. A argila interfere de maneira positiva no crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas, influenciando também de forma direta ou indireta na absorção dos nutrientes pelas plantas (MACKAY e BARBER, 1985).

O rápido crescimento das espécies em campo e grande área de copa também são características desejáveis quando o objetivo é a rápida cobertura de uma área degradada, auxiliando os processos de recuperação das condições ecológicas do local em questão, propiciando aumento da umidade do ar, diminuição da temperatura e manutenção da umidade do solo por mais tempo (JENNINGS et al., 1999). Espécies como a *M. caesalpiniiifolia* e *M. tenuiflora* são resistentes às condições adversas de solo e períodos de estiagem. Nesse trabalho elas apresentaram as maiores taxas de crescimento e de área de copa, além de fazerem parte do grupo das espécies com as maiores taxas de sobrevivência. Gonçalves (2017), avaliando as potencialidades de diferentes técnicas de recuperação e desenvolvimento de mudas em diferentes tipos de solo em áreas degradadas na Caatinga, verificou aos 24 meses após o plantio que *M. caesalpiniiifolia* atingiu sobrevivência acima de 95% quando plantadas em solos bem drenados, independentemente da aplicação de hidrogel. Ainda, essa espécie obteve incremento anual de quase 81 cm e a área de copa foi muito superior às demais espécies estudadas. Essa é uma espécie bastante rústica e que tem rápido crescimento, sendo capaz de crescer bem em todos os solos do semiárido, exceto os alagáveis (MAIA, 2004).

Silva (2014) também encontrou para *M. caesalpiniiifolia* as maiores taxas de sobrevivência quando avaliou a sobrevivência de nove espécies da Caatinga implantadas em área degradada em ano com déficit hídrico. Mas, vale ressaltar que nesse estudo a sobrevivência dessa espécie chegou a 67,2%, bem abaixo do encontrado nesse trabalho.

Lima et al. (2015) avaliaram o desenvolvimento inicial e a sobrevivência de 20 espécies arbóreas nodulantes e não-nodulantes, plantadas em cinco jazidas de extração de piçarra no Rio Grande do Norte em áreas com e sem a aplicação de topsoil e com ou sem a aplicação de esterco

bovino. Esses autores concluíram que das 10 espécies leguminosas nodulantes avaliadas, quatro se destacaram com relação ao crescimento e a sobrevivência em campo, estando entre elas a *M. caesalpinifolia* e *M. tenuiflora*, tendo a segunda espécie maior destaque.

*M. tenuiflora* é uma espécie que apresenta alta taxa de crescimento, formação de copa e sobrevivência em campo (FREITAS et al., 2010), podendo ser uma aliada nos processos de recuperação de áreas degradadas. Mello (2016) avaliou o potencial dessa espécie para a utilização em projetos de recuperação na Caatinga, testando a sobrevivência em campo em cinco tratamentos diferentes (controle, adição de água, adição de folhço, adição de água e folhço e agrofloresta) com quatro tipos de mudas diferentes (raiz grande e parte aérea grande, raiz grande e parte aérea pequena, raiz pequena e parte aérea grande e raiz pequena e parte aérea pequena). Os autores concluíram que *M. tenuiflora* apresenta grande potencial de crescimento em campo, chegando a praticamente 100% de sobrevivência em todos os tratamentos analisados. Outros autores como Figueroa et al. (2006) e Bakke et al. (2006) também constataram altas taxas de sobrevivência dessa espécie, mesmo em condições adversas de disponibilidade hídrica.

A grande maioria das espécies estudadas apresentou área de copa relativamente pequena aos 24 meses após o plantio, com exceção de *Piptadenia stipulacea*, *Senegalia polyphylla*, *Mimosa tenuiflora* e *Mimosa caesalpinifolia*. Boa parte das espécies arbóreas da Caatinga perdem parte ou todas as folhas no período de estiagem, um mecanismo fisiológico de proteção contra as condições extremas do bioma com o menor gasto energético possível (GONÇALVES, 2017). Com o início das chuvas a copa é novamente formada a partir de novas brotações e maturação das folhas.

A ausência de atividade fotossintética durante boa parte do ano acaba tornando lenta a produção de biomassa e o incremento em altura de algumas espécies. Logo, algumas das espécies avaliadas além de apresentarem área de copa pequena, também cresceram pouco em altura e apresentaram sobrevivência abaixo de 30%, a exemplo de *Senna spectabilis*, *Amburana cearensis*, *Bauhinia cheilantha* e *Erythrina velutina*. Essas espécies, de acordo com os critérios de crescimento e sobrevivência que são levados muitas vezes em consideração para a escolha das espécies em projetos de reflorestamento, não seriam interessantes, pois além de não proporcionarem rápido recobrimento do solo, ainda demorariam demais a crescer e deixariam falhas enormes nas áreas sob revegetação.

No trabalho de Lima et al. (2015a), os autores encontraram para a espécie *A. cearensis* baixa taxa de crescimento e baixa sobrevivência, evidenciando que ela não é adequada para ser utilizada em projetos de recuperação de áreas degradadas na Caatinga. Em contraste, os autores demonstraram que as espécies *A. pyrifolium* e *M. urundeuva*, apesar da pequena taxa de crescimento, apresentaram altas taxas de sobrevivência. Esses resultados corroboram o presente estudo, onde as espécies *A. pyrifolium*, *Copernicia prunifera*, *Handroanthus impetiginosus*, *Myracrodruon urundeuva* e *Spondias tuberosa* apresentaram pequena taxa de crescimento, mas altas taxas de sobrevivência.

Espécies de baixo crescimento e alta sobrevivência não fazem o papel de espécies de rápido crescimento, capazes de rápido recobrimento de locais degradados. Porém, podem compor o leque de espécies indicadas para reflorestamentos em áreas degradadas similares às avaliadas nesse estudo. O uso dessas espécies pode garantir ao reflorestamento certo grau de diversidade florística ao compor com espécies que tenham elevadas taxas de crescimento.

Lima et al. (2015b) avaliaram a sobrevivência de seis espécies da Caatinga utilizando hidrogel e concluíram que após 12 meses de avaliação a espécie que obteve a maior taxa de sobrevivência foi *Myracrodruon urundeuva* (82,5%), corroborando com o encontrado nesse trabalho.

Melotto et al. (2009) avaliaram a sobrevivência e crescimento inicial de 11 espécies nativas do Brasil, dentre elas *Myracrodruon urundeuva*, *Peltophorum dubium* e *Handroanthus*

*impetiginosus* plantadas em pastagem. *H. impetiginosus* e *M. urundeuva* apresentaram as maiores taxas de sobrevivência (100% e 93,8%). Esses resultados indicam, como evidenciado nesse trabalho, que essas duas espécies apresentam alta taxa de sobrevivência em campo, sendo boas espécies para serem utilizadas em projetos de recuperação de áreas degradadas. Em contrapartida, os mesmos autores encontraram sobrevivência de quase 70% para a espécie *Peltophorum dubium*, valor esse bem acima do encontrado nessa pesquisa para essa mesma espécie que teve sobrevivência média inferior a 50%. Vale destacar que o trabalho de Melotto foi desenvolvido em região, cuja precipitação média anual é de 1500 mm, enquanto na Caatinga esse valor dificilmente ultrapassa 800 mm anuais.

A alta variabilidade quanto ao crescimento e sobrevivência dentre as espécies avaliadas nesse estudo indica a alta variabilidade na capacidade de crescimento e adaptação aos ambientes em que foram introduzidas. A falta de trabalhos que mostrem o comportamento dessas espécies da Caatinga indicadas para projetos de recuperação de áreas degradadas, acaba sendo um complicador, pois há poucos dados para comparação e indicações mais assertivas sobre quais espécies são as mais indicadas para determinados tipos de situação. Nesse sentido, mais trabalhos com essa finalidade devem ser realizados na Caatinga.

### 6.3.2 Classes de aptidão Valor de restauração/conservação

A seleção de espécies promissoras para recuperação de áreas degradadas na Caatinga quase sempre é sustentada pelos atributos de crescimento e sobrevivência delas. As que apresentam um rápido crescimento e uma alta sobrevivência em condições adversas de disponibilidade de nutrientes no solo e escassez de água são quase sempre elencadas como preferenciais para os projetos que visam a recuperação de uma dada área degradada (RESENDE et al., 2010; CHAER et al., 2011; RESENDE et al., 2013; LIMA, et al., 2015). Nesse trabalho, se levarmos em consideração apenas esses atributos para a escolha das espécies, sintetizado no índice valor de restauração (VR), poderiam ser recomendadas 14 das 32 espécies que foram testadas (classe de aptidão alta e muito alta). Entretanto, ao adotar esse único critério corre-se o risco de se excluir espécies com outros atributos que podem contribuir para a recuperação do ambiente, a exemplo de espécies raras, com sementes grandes e de difícil dispersão (*A. occidentale* e *S. tuberosa*) ou espécies que promovam atratividade da fauna (*A. occidentale* e *S. tuberosa*).

Outro ponto importante é que as recomendações das espécies a partir apenas do VR acabam priorizando espécies que não apresentam características ecológicas como raridade e endemismo tão pronunciadas. É o caso da *C. pyramidale*, espécie comumente encontrada nos remanescentes florestais da Caatinga, com grande produção de sementes e que não é endêmica ao Bioma.

Por outro lado, se for levado em consideração apenas aspectos relacionados ao valor de conservação (VC) pode-se incorrer na seleção de espécies incapazes de crescer e/ou sobreviver no ambiente a ser revegetado. Com base apenas no VC espécies que tiveram elevadas taxas de crescimento e sobrevivência, como *M. caesalpiniifolia*, *M. schomburgkii*, *M. tenuiflora*, *P. aculeata* e *T. aurea*, provavelmente não seriam indicadas devido aos baixos valores de VC atribuídos a elas. Ademais, das 32 espécies avaliadas nesse estudo, apenas um terço delas foi classificado com aptidão alta ou muito alta com base em VC, restringindo o número de espécies com potencial para a recuperação de áreas degradadas.

Pelas razões expostas, a indicação e seleção de espécies a partir do índice de valor de conservação e restauração (VCR) pode ser uma alternativa interessante, pois aumenta a probabilidade de seleção de espécies considerando um critério mais abrangente, que leva em consideração o VC e o VR da espécie. Um exemplo interessante é da *M. tenuiflora* que apresenta classe de aptidão VC baixa, porém classe de aptidão VR muito alta. Essa espécie seria

indicada sem restrições se levarmos em consideração apenas o VR, em contrapartida, com relação ao VC ela provavelmente não seria indicada. Utilizando a média dos dois índices, ela se torna uma espécie com classe de aptidão VCR alta. Já *A. occidentale*, *C. prunifera* e *S. tuberosa* foram classificadas por VC e VR com aptidão muito alta e média, respectivamente. Pela junção dos dois índices elas ficam inseridas na classe de aptidão VCR alta.

A proposta do VCR ajuda a balizar a escolha das espécies, diminuindo a subjetividade que muitos projetos acabam tendo na escolha delas. Muitas vezes a escolha das espécies que serão plantadas é feita apenas com base na disponibilidade de mudas nos viveiros da região. Portanto, o VCR pode ajudar também na priorização de espécies para serem produzidas em viveiros que fornecem mudas para projetos de recuperação florestal.

Vale destacar que as espécies classificadas com aptidão VCR média e baixa não devem necessariamente ser descartadas de projetos de recuperação em áreas degradadas por exploração e uso da piçarra. No entanto, a utilização destas deve ser mais criteriosa, por exemplo buscando-se arranjos de plantio mais adensados para compensar eventuais falhas de estande de plantas causado por mortalidade. A mesclagem entre as espécies situadas nas quatro classes de aptidão VCR pode ser uma alternativa desde que, conhecendo o tipo de aptidão de cada espécie, se adote densidades e arranjos espaciais específicos. Isso pode ajudar a garantir o sucesso nos projetos de recuperação de áreas degradadas na Caatinga.

## 6.4 CONCLUSÕES

Nas condições desse estudo, o uso de cobertura morta de palha de carnaúba não afetou a taxa de crescimento, área de copa e sobrevivência da maioria das espécies arbóreas testadas. Dentre 32 espécies avaliadas, apenas *Anadenanthera colubrina* e *Senna spectabilis* responderam positivamente, e *Libidibia ferrea* e *Tabebuia aurea* responderam negativamente a esse tratamento. Desse modo, para a finalidade de recuperação de áreas impactadas pela extração ou deposição de piçarra na Caatinga, não se justifica o uso de cobertura morta com palha de carnaúba em reflorestamentos multiespecíficos, uma vez que a grande maioria das espécies não respondeu ou respondeu de forma pouco intensa a esse tratamento.

O índice VCR proposto constitui-se em uma nova ferramenta para a seleção de espécies para recuperação de áreas degradadas na Caatinga e também aplicável a outras regiões. Com base no VCR 16 das 32 espécies foram classificadas com alta ou muito alta aptidão para uso na revegetação de jazidas de piçarra ou de outras áreas impactadas pela exploração e produção de petróleo e gás natural no bioma Caatinga. Ao contrário, as espécies classificadas como baixa aptidão devem ser utilizadas de forma criteriosa nesses projetos.

### 6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos de seleção de espécies para recuperação de áreas degradadas são importantes pois podem ajudar a garantir o sucesso de projetos, pela escolha assertiva de espécies capazes de se estabelecer e crescer de forma satisfatória nas condições, geralmente críticas, do ambiente degradado. Para a Caatinga, estudos voltados para a seleção e indicação de espécies para a recuperação de ambientes degradados são incipientes, principalmente em áreas degradadas por atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural em terra.

Nesse contexto, estudos como este permitem direcionar esforços para produção ou aquisição de mudas de espécies com alta probabilidade de alcançar os resultados previstos no plano de recuperação, no que diz respeito, por exemplo, à diversidade de espécies almejada, tempo de recobrimento do solo e taxas de sobrevivência. Desse modo, o conhecimento das espécies aptas para a revegetação de determinado ambiente degradado, a exemplo de áreas mineradas, permite a redução na subjetividade na escolha de espécies para determinado projeto. Isso também tem potencial de reduzir os custos dos projetos, uma vez que a utilização de espécies já testadas naquele tipo de ambiente garante maiores taxas de estabelecimento e crescimento em campo, diminuindo atividades de replantio e o tempo de entrega da área recuperada à sociedade.

Esse estudo apresenta uma metodologia inédita para o ranqueamento de espécies, a qual conjuga em um índice tanto aspectos relacionados ao desempenho da espécie em campo, quanto aspectos relacionados à sua importância ecológica na região. Isso auxilia na definição de uma lista de espécies para determinado projeto que leve em consideração não somente o aspecto de desempenho em campo, mas também aspectos ecológicos como endemismo, raridade e status de conservação da espécie. Outra importante utilidade das listas geradas nesse estudo é a possibilidade de utilizá-la para balancear os percentuais de mudas das espécies a serem utilizadas em determinado projeto. Por exemplo, para alcançar um maior nível de diversidade ao final de um projeto, pode-se aumentar os percentuais de mudas (ou a densidade de plantio) de espécies que apresentam baixa taxa de sobrevivência, mas cujos indivíduos estabelecidos possuem capacidade de se perpetuar.

Em determinadas situações, onde se é possível fazer plantios escalonados no tempo, os índices de valor de restauração (VR) e valor de conservação (VC) poderiam ser utilizados para definir as espécies para cada etapa de plantio. Nesse caso, para o plantio inicial seriam recomendadas apenas espécies com valores de VR elevados, ou seja, com alto potencial de estabelecimento e crescimento. Após alguns anos, quando as condições de substrato e microclima se tornem mais favoráveis, pode-se introduzir as demais espécies com altos valores de VC, as quais possivelmente terão maior probabilidade de sucesso no seu estabelecimento.

Vale destacar que os índices apresentados têm como principal objetivo direcionar de forma mais objetiva quais espécies são mais indicadas para a recuperação de áreas degradadas; porém, ajustes poderão ser realizados na metodologia em função de particularidades do ambiente a ser recuperado, ou de novos dados de pesquisas de campo.

## 6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, S. P. N. et al. Bagana como substrato para Tamboril. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. Uberlândia-MG: **Anais...** Uberlândia:SBCS, 2010.
- ANDRADE-LIMA, D. Notas para la fitogeografia de Mossoró, Grossos e Areia Branca. **Anais...** Associação dos Geógrafos Brasileiros 13, p. 29–48, 1964.
- ANGELIM, A. E. S.; MORAES, J. P. S.; SILVA, J. A. B.; GERVÁSIO, R. C. R. G. Germinação e aspectos morfológicos de plantas de Umburana de Cheiro (*Amburana cearensis*) encontradas na região do Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p. 1062–1064, 2007.
- BAKKE, I. A.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, O. A.; ANDRADE, A. P. Water and sodium chloride effect on *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret seed germination. **Revista Caatinga**, 19, p. 261–267, 2006.
- BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, p. 1–48, 2015.
- BOTREL, R. T.; SILVA, M. V. N.; QUIRINO, N. I. L.; SILVA, E. D. G.; FONSECA, L. R. S.; DOMBROSKI, J. L. D.; MACHADO, F. S. **Similaridade florística entre trechos de Caatinga arbórea no Semiárido do Rio Grande do Norte**. XIV Congresso de Ecologia, 2019.
- BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Restauração Florestal**, 2015.
- BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J.; STONE, J. C.; OLSHEN, R. A. **Classification and Regression Trees**, 1983.
- FILHO, R. A. P. **Hidrogel associado à bagana de carnaúba no estabelecimento de plantas de tamboril em solo degradado**. Tese (doutorado) Universidade Federal do Ceará, 2016.
- FREITAS, A. D. S. et al. Biological nitrogen fixation in tree legumes of the Brazilian semi-arid caatinga. **Journal of Arid Environments**, Londres, v. 74, n.3, p. 344–349, 2010.
- GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, 2010.
- GONÇALVES, F. L. A.; RESENDE, A. S. de.; LIMA, I. S. S.; CHAER, G. M. Coroamento Manual Versus Papelão na Restauração Florestal: Custos e Efeito sobre o Desenvolvimento das Mudanças. **Planta daninha**, vol.36, p. 1–10, 2018.

- GONÇALVES, M. DA. P. M. **Técnicas de recuperação florestal em áreas perturbadas na caatinga**, Ceará. Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017.
- JENNINGS, S. B.; BROWN, N. D.; SHEIL, D. Assessing forest canopies and understory illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. **Forestry**, v. 72, n. n.1, p. 59–73, 1999.
- LENTH, R. V. Least-squares means: The R package lsmeans. **Journal of Statistical Software**, v. 69, n. 1, p. 1–33, 2016.
- LIMA, K. D. R.; CHAER, G. M.; ROWSJ, J. R. C.; RESENDE, A. S. de. Seleção de espécies arbóreas para revegetação de áreas degradadas por mineração de piçarra na caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 203–213, 2015a.
- LIMA, M. M. DE.; SANTOS, L. de. A.; NOGUEIRA, E. M. de. S.; MOURA, F. de. B. P. Sobrevivência inicial de seis espécies usadas na recuperação de uma área degradada na caatinga. **Revista Ouricuri**, v. 5, n.2, p. 1–6, 2015b.
- MACKAY, A. D.; BARBER, S. Soil moisture effect on root growth and phosphorus uptake by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, p. 519–523, 1985.
- MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D & Z Computação Gráfica e Editora, 2004.
- MELLO, B. L. C. de. **Mimosa tenuiflora: potencial para uso em programas de restauração florestal da caatinga**. Monografia - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.
- MELOTTO, A.; LUIZA, M.; BOCCHESI, A.; ANTÔNIO, V.; NETO, M. G.; SCHLEDER, D.; SILVA, P.; SCHLEDER, D. D.; POTT, A. Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil Central indicadas para sistemas silvipastoris. **Revista árvore**, v. 33, n.3, p. 425–432, 2009.
- PIMENTEL, J. V. F.; GUERRA, H. O. C. Crescimento inicial de *Amburana cearensis* (Allem.) A. C. Smith em sistema agroflorestal no semiárido brasileiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 771–780, 2015.
- RESENDE, A. S. DE; CHAER, G. M. **Manual para recuperação de áreas degradadas por extração de piçarra na Caatinga**. Seropédica-RJ, Embrapa Agrobiologia, 2010.
- RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. 2º edição ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda, 1997.

- SALOMÃO, R. P.; JUNIOR, S. B.; ROSA, N. A. Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na amazônia. **Revista Árvore**, v.38, n.1, p. 1–24, 2014.
- SANTOS, I. P. **Aptidão de espécies florestais para a restauração ecológica em áreas de floresta estacional**. Mestrado (dissertação) Universidade Federal de São Carlos Campus Sorocaba, 2016.
- SILVA, A. DE. P.; GONÇALVES, M. DA. P. M.; CHAGAS, A. O. V. DAS. Efeito da escassez de chuvas na sobrevivência de espécies nativas da caatinga em área em recuperação. In: **Anais... VIII Simpósio Brasileiro de Pós-graduação em Ciências Florestais**, p. 455–458, 2014.
- SOBRINHO, J. E.; PEREIRA, C. V.; OLIVEIRA, A. D.; SANTOS, W. O.; SILVA, N. K. C.; MANIÇOBA, R. N. Climatologia da precipitação no município de Mossoró-RN. Período: 1900-2010. In: **XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – SESC Centro de Turismo de Guarapari**, 2011.
- SOUZA, P. G. R. de. **Produtividade e rentabilidade da forragem de sorgo sob lâminas de irrigação e níveis de cobertura morta em condições semiáridas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, 2017.
- ZUUR, A. F.; LENO, E. N.; WALKER, N.; SAVELIEV, A. A.; SMITH, G. M. **Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R**. New York: Springer-Verlag, 2009.

## **CAPÍTULO II**

**Uso de espécies de rápido crescimento para a recuperação de áreas degradadas pela exploração de piçarra na Caatinga**

## RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar a recuperação de uma área degradada pela exploração de piçarra a partir do plantio de mudas de espécies arbóreas de rápido crescimento sob diferentes arranjos de plantio e regimes de poda. O estudo foi realizado em uma jazida de piçarra desativada, que proveu material para atividades ligadas à exploração de petróleo e gás natural em terra na região de Caatinga do estado do Rio Grande do Norte. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: T1 – controle (apenas escarificação do solo); T2 – escarificação seguida de plantio das espécies *Anadenanthera colubrina*, *Myracrodruon urundeuva*, *Spondias tuberosa*, *Mimosa tenuiflora*, *Anacardium occidentale*, *Libidibia ferrea*, *Senegalia polyphylla*, *Mimosa laticifera*, *Piptadenia stipulacea*, *Tabebuia aurea* e *Mimosa caesalpiniiifolia*; T3 – escarificação seguida do plantio intercalando linhas de espécies de preenchimento (*M. tenuiflora*, *P. stipulacea*) com linhas de espécies de diversidade (*T. aurea*, *L. ferrea*, *M. caesalpinifolia*, *S. tuberosa* e *A. colubrina*) e T4 – semelhante ao T3, mas com podas anuais das copas das espécies de preenchimento. O crescimento e sobrevivência das plantas foi monitorado semestralmente ao longo de 470 dias. Ao final do período de monitoramento foram determinadas a taxa de cobertura do solo, utilizando imagens obtidas por drone e a regeneração natural em T1 e T4, levando em consideração a estrutura horizontal deles. Também foram avaliadas alterações nas características químicas do solo superficial aos 24 meses após da instalação dos tratamentos. Aos 470 dias após o plantio, não foi detectada diferença na taxa de crescimento e de sobrevivência entre os tratamentos em que houve plantio (T2, T3 e T4). A taxa de cobertura do solo não diferiu entre os tratamentos 2 (77%) e 3 (91%); porém, estes apresentaram essa taxa maior que a de T1 (10%) e T4 (54%). Considerando as espécies introduzidas de forma individualizada, não houve efeito do arranjo de plantio na taxa de sobrevivência. As espécies *T. aurea*, *L. ferrea*, *P. stipulacea*, *M. tenuiflora* e *M. caesalpiniiifolia* tiveram maiores taxas de crescimento em T2. As famílias com maior representatividade nos indivíduos regenerantes foram as Poaceae, Fabaceae e Malvaceae. Não foi verificada diferença estatística entre as variáveis químicas do solo de áreas plantadas (T2, T3 e T4) em relação ao controle (T1) após 24 meses. As podas realizadas no tratamento 4 influenciaram muito pouco no crescimento em altura dos indivíduos circunvizinhos, não apresentando resultados que justifiquem sua aplicação. Apenas o isolamento da área não foi suficiente, nas condições desse estudo, para garantir o recobrimento da área com espécies regenerantes. O imageamento com drone se mostrou uma ferramenta adequada para a avaliação da taxa de cobertura do solo em processo de revegetação. O tempo de avaliação do experimento pode não ter sido suficiente para que os tratamentos influenciassem na comunidade regenerante e nas características químicas do solo.

**Palavras-chave:** recuperação de áreas mineradas; semiárido; arranjo de espécies; regeneração natural; taxa de cobertura do solo.

## ABSTRACT

The objective of this chapter was to evaluate the recovery of an area degraded by the exploitation of slate from the planting of fast growing tree seedlings under different planting arrangements and pruning regimes. The study was carried out in a decommissioned gravel mining area located in Pendências-RN, Caatinga biome. The experimental design was in randomized blocks with four treatments and four replications. The treatments were: T1 - control (soil scarification only); T2 - scarification followed by the planting of the species *Anadenanthera colubrina*, *Myracrodruon urundeuva*, *Spondias tuberosa*, *Mimosa tenuiflora*, *Anacardium occidentale*, *Libidibia ferrea*, *Senegalia polyphylla*, *Mimosa laticifera*, *Piptadenia stipulacea*, *Tabebuia aurea*, *Mimosa caesalpinifolia* and *Mimosa tenacidae*; T3 - scarification followed by planting, interspersing lines of filling species (*M. tenuiflora*, *P. stipulacea*) with lines of diversity species (*T. aurea*, *L. ferrea*, *M. caesalpinifolia*, *S. tuberosa* and *A. colubrina*) and T4 - similar to T3, but with annual pruning of the crowns of the filling species. Plant growth and survival was monitored every six months over 470 days. At the end of the monitoring period, the ground cover rate was determined using images obtained by drone. Natural regeneration was also evaluated in treatments 1 and 4 taking into account their horizontal structure. Changes in the chemical characteristics of the topsoil were also evaluated at 24 months after the installation of the treatments. At 470 days after planting, there was no difference in growth and survival rates between treatments. The land cover rate did not differ between treatments 2 (77%) and 3 (91%); however, they presented this rate higher than that of treatments 1 (10%) and 4 (54%). Considering the species introduced individually, there was no effect of the planting arrangement on the survival rate. The species *T. aurea*, *L. ferrea*, *P. stipulacea*, *M. tenuiflora* and *M. caesalpinifolia* had higher growth rates in T2. The most representative families in the regenerating individuals were Poaceae, Fabaceae and Malvaceae. There was no statistical difference between the chemical variables of the soil of planted areas (T2, T3 and T4) in relation to the control (T1) after 24 months. The pruning performed in treatment 4 had very little influence on the height growth of the surrounding individuals, with no results that justify its application. The isolation of the area alone was not sufficient, under the conditions of this study, to guarantee the covering of the area with regenerating species. Drone imaging proved to be an adequate tool for assessing the rate of soil cover in the revegetation process. The evaluation time of the experiment may not have been enough for the treatments to influence the regenerating community and the chemical characteristics of the soil.

**Keywords:** recovery of mined areas; semiarid; species arrangement; natural regeneration; ground cover rate.

## 7. INTRODUÇÃO

A recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração é um processo lento e gradual e que dificilmente ocorre sem a intervenção do homem. Nessas áreas a sucessão secundária (recolonização do ambiente por processos de regeneração natural da vegetação) é restrita, especialmente devido à decapitação da camada superficial do solo, mais fértil e biologicamente ativa. Logo, esse processo pode ser extremamente lento quando deixado apenas a cargo de processos naturais, sendo, portanto, necessárias ações humanas para promover a recuperação.

Jazidas de extração mineral são comuns no Estado do Rio Grande do Norte, especialmente as de extração de piçarra, tipo de cascalho utilizado na terraplenagem de locais de exploração e produção de petróleo e gás natural em terra, construção de estradas de acesso, dentre outros usos. O processo de exploração da piçarra envolve a supressão de toda a vegetação e a escavação do solo a profundidades que variam entre 2 a 15 m para retirada do material. Ao final do ciclo de exploração e uso de cada uma das áreas onde a piçarra foi retirada (jazidas) ou depositada (ex., bases de poço), é necessária a recuperação do ambiente conforme o plano de recuperação de áreas degradadas originalmente acordado com o órgão ambiental estadual. Esse processo normalmente é realizado em várias etapas conforme o local, mas que invariavelmente incluem o isolamento da área, a descompactação física do substrato e a introdução artificial de vegetação nativa, seja a partir do plantio de mudas ou da transposição de solo superficial de áreas próximas ainda em fase de exploração.

Algumas estratégias de recuperação de áreas degradadas pela extração de piçarra previamente estudadas mostraram que é possível obter sucesso na recuperação funcional desses ambientes (LIMA et al., 2012; LIMA et al., 2015 e LIMA et al., 2017). No entanto, é necessário avançar em diversas frentes, como na identificação de espécies nativas capazes de colonizar as áreas impactadas, na identificação de novas técnicas de plantio que auxiliem as plantas recém introduzidas a sobreviverem aos longos períodos de estiagem e em estudos comparando a eficiência de diferentes arranjos de plantio e de manejo sobre a velocidade de recuperação das áreas.

A utilização de plantios de espécies nativas do bioma com ênfase em um número reduzido de espécies de rápido crescimento e que comprovadamente suportam grandes períodos de seca pode auxiliar nesse processo de recuperação (RESENDE & CHAER, 2010). Entretanto, é necessário garantir um mínimo de redundância funcional, pela introdução de grupos de espécies que desempenham funções similares dentro da dinâmica do ecossistema (SER, 2004), principalmente em se tratando de ambientes como a Caatinga que sofrem com grandes mudanças ambientais. Na eventual falta de adaptação de uma dessas espécies, por conta destes eventos climáticos, outra que desempenhe a mesma função pode suprir a mesma função ecológica no ambiente.

O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito de diferentes arranjos de plantio de espécies arbóreas nativas e naturalizadas sobre o crescimento e sobrevivência das espécies, sobre a capacidade de recobrimento do substrato e sobre a regeneração natural em uma jazida de piçarra com operação encerrada em região de Caatinga, estado do Rio Grande do Norte.

## 7.1 MATERIAL E MÉTODOS

### 7.1.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido na jazida de exploração de piçarra J-111 localizada no município de Pendências, RN (Latitude 5°15'S e Longitude 36°34'O). A jazida encerrou sua operação de extração no ano de 2016. O entorno da jazida é constituído de vegetação secundária de Caatinga com alto grau de intervenção e biodiversidade de espécies relativamente baixa (observação de campo). Levando em consideração a classificação de caatingas de Prado (2003) é enquadrada como unidade II, sendo o tipo de vegetação predominante dos gêneros *Caesalpinia-Spondias-Commiphora-Aspidosperma*.

O clima da região é classificado como semiárido e, de acordo com Köppen, é do tipo BSh', sendo muito seco e muito quente, com duas estações bem definidas. A característica climática mais marcante é uma longa estação seca e chuvas torrenciais em períodos irregulares de janeiro a junho (RIZZINI, 1997). A pluviosidade média histórica no município de Mossoró, RN, vizinho ao de Pendências, no período de 1900 a 2010 foi de 685 mm (SOBRINHO et al., 2011). Em especial, os anos de 2011 a 2016 foram extremamente secos com média de precipitação anual inferior a 350 mm.

### 7.1.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro tratamentos e quatro repetições, sendo que cada unidade experimental ocupou área de 600 m<sup>2</sup>, totalizando 0,96 hectares. Os tratamentos foram: T1 – controle (apenas escarificação do solo); T2 – escarificação seguida de plantio das espécies *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, *Myracrodruon urundeuva* Allemão, *Spondias tuberosa* Arruda, *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir, *Anacardium occidentale* L., *Libidibia ferrea* var. *leiostachya* (Benth.) L.P. Queiroz, *Senegalia polyphylla* (DC.) Britton & Rose, *Mimosa laticifera* Rizzini & A. Mattos, *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke, *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S. Moore e *Mimosa caesalpinifolia* Benth.; T3 – escarificação seguida do plantio intercalando linhas de espécies de preenchimento (*Mimosa tenuiflora*, *Piptadenia stipulacea*) com linhas de espécies de diversidade (*Tabebuia aurea*, *Libidibia ferrea*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Spondias tuberosa* e *Anadenanthera colubrina*) e T4 – semelhante ao T3, mas com podas anuais das copas das espécies de preenchimento (Figura 10).



**Figura 10.** Imagem aérea parcial da jazida J-111 contendo a marcação da disposição dos blocos e tratamentos do experimento de estratégias de recuperação de áreas degradadas (Assú, RN).

Toda a área experimental foi previamente escarificada utilizando escarificador de 50 cm de profundidade (Figura 11 A). Após a delimitação das parcelas, o perímetro da área foi isolado com cerca de arame farpado com 7 fios de modo a evitar a entrada de animais (especialmente caprinos), pessoas não autorizadas ou passagem de máquinas (Figura 11 B). Nenhuma outra intervenção foi feita no controle (T1) além dessas citadas.



**Figura 11.** Escarificação da área J-111 com auxílio de trator de esteira acoplado a um escarificador antes da instalação do experimento (A) e cerca construída no perímetro da área (B) (Assú-RN).

O plantio de mudas realizado nos tratamentos T2, T3 e T4 foi feito no espaçamento de 2m x 2m utilizando mudas rustificadas e produzidas em sacos plásticos 14 cm x 20 cm. As espécies utilizadas foram: T2 - *Myracrodruon urundeuva*, *Spondias tuberosa*, *Mimosa*

*tenuiflora*, *Anacardium occidentale*, *Libidibia ferrea*, *Acacia glomerosa*, *Mimosa obovata*, *Piptadenia stipulacea*, *Tabebuia aurea* e *Mimosa caesalpinifolia*, T3 – *Mimosa tenuiflora*, *Piptadenia stipulacea*, *Tabebuia aurea*, *Libidibia ferrea*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Spondias tuberosa* e *Anadenanthera colubrina* e no T4 – *Mimosa tenuiflora*, *Piptadenia stipulacea*, *Tabebuia aurea*, *Libidibia ferrea*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Spondias tuberosa* e *Anadenanthera colubrina*.

Para a aplicação dos tratamentos, as etapas de marcação de berços de plantio, abertura, adubação e plantio seguiram a metodologia utilizada e descrita no capítulo I dessa tese no item 6.2 (Delineamento experimental).

### **7.1.3 Avaliações**

#### **7.1.3.1 Crescimento e sobrevivência das espécies arbóreas**

O monitoramento do crescimento e sobrevivência das espécies arbóreas de cada tratamento foram realizadas conforme metodologia do capítulo I descrita no item 6.3.1 (Crescimento e sobrevivência das espécies arbóreas).

#### **7.1.3.2 Metodologia fitossociológica da regeneração natural**

A análise fitossociológica da regeneração natural e sua estrutura horizontal foi realizada nos tratamentos 1 e 4 ao final do 24º mês após o plantio, sendo quantificado o percentual de recobrimento dos indivíduos de porte herbáceo, arbustivo e arbóreo. O percentual de recobrimento de cada espécie foi determinado através de senso realizado em cada tratamento. Esses dados foram classificados de acordo com a escala de percentual de ocupação da espécie criada para esse estudo, conforme a seguir:

Escala 5: ocupação de 75-100%

Escala 4: ocupação de 50-75%

Escala 3: ocupação de 25-50%

Escala 2: ocupação de 5-25%

Escala 1: ocupação <5%.

Esses indivíduos foram identificados através do nome vulgar no campo, nome científico e família botânica, de acordo com suas características levantadas em campo. O material botânico, juntamente com o registro fotográfico foi realizado para todos os indivíduos amostrados em campo para posterior identificação, que foi realizada com auxílio de especialistas botânicos e bibliografias da caatinga.

#### **7.1.3.3 Estrutura horizontal dos indivíduos regenerantes**

A estrutura horizontal da regeneração natural foi baseada na frequência e dominância (cobertura) da vegetação espontânea. A frequência se refere a ocorrência de um determinado indivíduo nas áreas amostrais e foi classificada como frequência absoluta ( $FreqAb_i$ ), que é a probabilidade de uma unidade amostral conter uma determinada espécie, e frequência relativa ( $FreqRel_i$ ), que indica a frequência da mesma espécie em comparação com as demais que apareceram no estudo. As duas equações utilizadas para o cálculo da frequência seguem logo abaixo:

$$FreqAb_i = O_i / UA \text{ (ha)}$$

Onde:  $O_i$  = número de unidades amostrais com ocorrência da espécie  $i$ . UA = número de unidades amostrais utilizadas no levantamento.

$$\text{FreqRel}_i = (\text{FreqAb}_i / \sum \text{FreqAb}_i) \times 100$$

Onde:  $\text{FreqAb}_i$  = frequência absoluta da espécie  $i$ ;

A dominância ou cobertura representa o espaço que uma determinada espécie ocupa em cada unidade de área. Para esse cálculo foi utilizada a projeção da copa de cada indivíduo amostrado (MUELLER- DOMBOIS; ELLENBERG, 1974). Foram calculadas a cobertura absoluta ( $\text{Cobab}_i$ ), referente a cobertura da espécie na área e a cobertura relativa ( $\text{Cobrel}_i$ ), que é a cobertura dessa mesma espécie em relação as demais amostradas. As fórmulas utilizadas para o cálculo desses dois índices seguem logo abaixo:

$$\text{CobAb}_i = \sum AC_i / \text{Área (ha)}$$

onde:  $AC_i$  = área de copa da espécie  $i$ ;

$$\text{CobRel}_i = \text{CobAb}_i / \sum \text{CobAb}_i$$

Onde:  $\text{CobAb}_i$  = cobertura absoluta da espécie  $i$ ;

Com esses dois índices foi gerado o Índice de cobertura (IC), que considerou a  $\text{FreqRel}_i$  e  $\text{CobRel}_i$  para definir a importância da espécie  $i$  na comunidade estudada. A fórmula utilizada segue logo abaixo:

$$\text{IC}_i = \text{FreqRel}_i + \text{CobRel}_i$$

Onde:  $\text{FreqRel}_i$  = frequência relativa da espécie  $i$ ;  $\text{CobRel}_i$  = cobertura relativa da espécie  $i$ ;

#### 7.1.3.4 Taxa de cobertura com VANT

Foi realizado o imageamento de toda a área experimental utilizando um drone modelo Phantom 3 Professional (SZ DJI Technology Co., Ltd.) 640 dias após o plantio. O plano de voo foi estabelecido utilizando o software Pix4Dcapture para iOS utilizando os seguintes parâmetros: grid para mapas 2D, 30 m de altitude de voo, ângulo da câmera a 90 graus, sobreposição de imagens de 80% e velocidade do drone rápida. As imagens georreferenciadas obtidas foram processadas utilizando o software Agisoft PhotoScan Professional Edition 1.2.3. Esse processamento foi realizado em sete etapas (1 – Adicionar as fotos no programa; 2 – alinhamento das fotos, gerando uma nuvem de pontos; 3 – construção de nuvem densa de pontos; 4 – construção do modelo; 5 – construção do mapa 3D texturizado; 6 – elaboração do ortomosaico. Todas essas etapas citadas, desde o plano de voo até a confecção dos mapas com as taxas de cobertura seguiram as recomendações propostas por Jorge e Inamasu (2014). As etapas de plano de voo até a geração do mosaico foram realizadas pela equipe da gerência de monitoramento e caracterização ambiental e da gerência de tratamentos ambientais, resíduos e recursos hídricos do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES/PETROBRAS).

A construção dos mapas de taxa de cobertura dos tratamentos foi realizada pelo método de fotointerpretação através do software livre QGIS. Foram definidas duas classes para a confecção dos mapas, delimitadas visualmente, a partir da construção de vetores (Cândido, 2015). As classes criadas foram área coberta (polígonos confeccionados a partir da copa das árvores) e área descoberta (polígonos confeccionados a partir das áreas que não foram sobrepostas pela copa das árvores). Para cada parcela e tratamento foi adotada a classe mais indicada, ou seja, quando a quantidade de área sem sobreposição de copa era pequena adotou-se a classe de área descoberta para a construção do polígono, caso contrário foi utilizada a classe área coberta para a construção do polígono.

Ao final da construção dos polígonos foi realizado somatório da área dos polígonos de todos os blocos de cada tratamento e dividido por quatro (número de blocos) para se obter a média de quanto os polígonos de área de cobertura (ou área descoberta) de cada tratamento ocupavam da área total dos seus respectivos tratamentos. A área dos polígonos é obtida utilizando a ferramenta calculadora de campo presente no software livres QGIS.

#### **7.1.3.5 Análises químicas do solo**

Foram realizadas quatro amostragens simples para cada parcela experimental na profundidade de 0 a 20 cm em agosto de 2019. As amostras simples foram coletadas com auxílio de trado e homogeneizadas em balde para a retirada da amostra composta, que foi acondicionada em saco plástico. Após essa etapa as amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm e enviadas para laboratório de rotina de análise de solo para as seguintes determinações: pH (em H<sub>2</sub>O – Relação 1:2,5), P disponível (Melich), K (Melich), Ca (KCl<sup>-1</sup> mol/L), Mg (KCl<sup>-1</sup> mol/L), H+Al (Acetato de cálcio) e Al (KCl<sup>-1</sup> mol/L). A partir desses valores foram calculadas a soma de bases, a CTC efetiva e a saturação por bases, através da metodologia proposta por Embrapa (2017).

#### **7.1.4 Análise dos dados**

As variáveis altura total, taxa de crescimento, cobertura e sobrevivência foram analisadas em conjunto e por espécie em função dos tratamentos através de análise de variância (ANOVA), utilizando-se modelos de efeitos mistos (MEM) (ZUUR et al., 2009). Para as variáveis explanatórias considerou-se o efeito de blocos como fator aleatório, enquanto os efeitos de tratamento foram considerados como fatores fixos na estrutura dos modelos avaliados. Posteriormente, as médias das variáveis foram comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Todas as análises foram conduzidas no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018), utilizando-se os pacotes *lme4* (BATES, 2015) e *lsmeans* (LENTH, 2016).

## 7.2 RESULTADOS

### 7.2.1 Crescimento das espécies arbóreas e cobertura com VANT.

A princípio, a mensuração da altura e avaliação da sobrevivência das espécies plantadas em cada tratamento seria realizada em cinco datas. Porém, aos 631 dias após a primeira medição, não foi possível realizar as medidas de altura e sobrevivência em T2 e T3 por conta do fechamento do dossel (Figuras 12 A, B e D), mas apenas em T4 (Figura 12 C), tratamento que contou com podas nas entrelinhas de plantio. Desse modo, os dados apresentados de altura total e de taxas de crescimento e de sobrevivência, tanto geral quanto por espécie, representam a média das quatro primeiras datas de avaliação. Para a variável taxa de cobertura, como as imagens foram capturadas com drone, não houve esse problema e os dados foram obtidos com o sobrevoo realizado na quinta avaliação, aos 631 dias após a primeira.



**Figura 12.** Imagem dos tratamentos 2 (A), 3 (B), 4 (C) e vista aérea (D) dos mesmos aos 631 dias após a primeira avaliação. Detalhe para o fechamento do dossel em A e B impossibilitando a mensuração individual das plantas (Assú, RN).

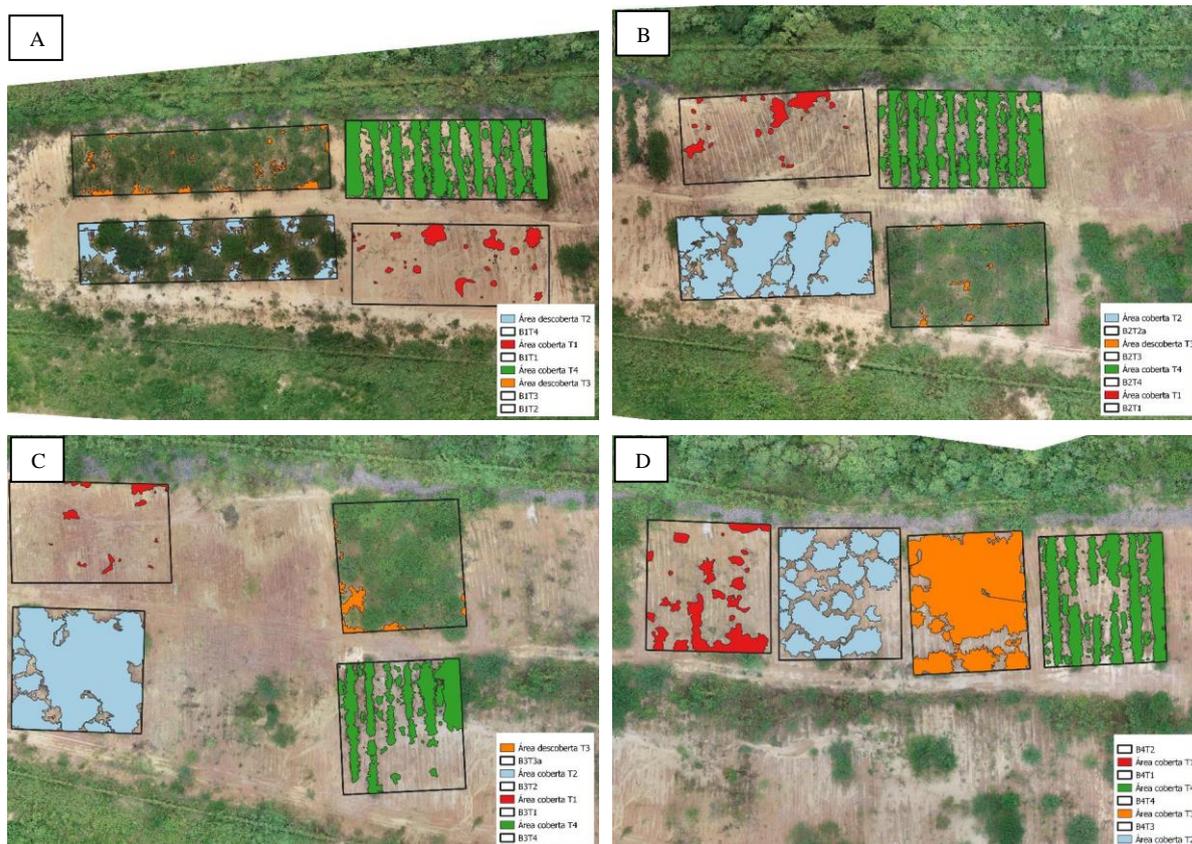
A taxa de cobertura dos tratamentos estudados apresentou diferença estatística de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Tabela 10). Os tratamentos T2 e T3, que apresentaram taxa de cobertura do solo de 77% e 91%, respectivamente, não diferiram entre si, porém foram significativamente maiores que T1 e T4. Por sua vez, o T4 com taxa de cobertura de 54%, foi significativamente maior que o controle (T1), o qual apresentou a menor taxa de cobertura dentre todos os tratamentos estudados, com apenas 10% de recobrimento médio da área (Tabela 10 e Figura 13).

Não houve efeito dos tratamentos sobre a taxa de crescimento e sobrevivência das espécies plantadas, quando avaliadas em conjunto (Tabela 10). Diferentemente, as médias gerais das alturas dos tratamentos variaram entre os tratamentos conforme a época de avaliação. Aos 84 dias após a primeira avaliação, o tratamento T3 apresentou a maior média de altura entre os tratamentos com  $63,3 \text{ cm.mês}^{-1}$  e foi estaticamente diferente dos demais, que não apresentaram diferença entre si. Aos 271 dias após a primeira avaliação, a tendência da avaliação anterior se manteve e novamente o tratamento T3 apresentou a maior média ( $111,3 \text{ cm.mês}^{-1}$ ). Já na última avaliação realizada 470 dias após a primeira, os tratamentos não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) (Tabela 10).

**Tabela 10.** Altura média por período de avaliação e médias das taxas de cobertura, crescimento e sobrevivência dos quatro tratamentos ao final dos 470 dias após a primeira avaliação (Assú, RN).

Tratamento	Taxa de cobertura (%)	Taxa crescimento ( $\text{cm.mês}^{-1}$ )	Sobrevivência (%)	Altura média (cm) / Dias após a primeira avaliação			
				0	84	271	470
T1	10c	*	*	*	*	*	*
T2	77a	4.9	92	44.2b	54.9b	102.5b	121.3a
T3	91a	4.8	93	55.0a	63.3a	111.3a	127.4a
T4	54b	4.6	94	51.2a	57.8b	104.1ab	123.2a

\*tratamento controle, onde não ocorreu plantio. Médias seguidas da mesma letra na coluna não apresentam diferença estatística de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 13.** Vista aérea dos blocos 1 (A), 2 (B), 3 (C) e 4 (D) com a representação gráfica dos tratamentos e de suas respectivas áreas cobertas ou descobertas de vegetação representadas por polígonos nas cores vermelha (T1), azul (T2), laranja (T3) e verde (T4). Experimento realizado em área de exploração e produção de petróleo e gás da Petrobras, no município de Assú-RN.

Quando as taxas de crescimento e sobrevivência foram analisadas de forma individualizada por espécie, houve diferença entre os tratamentos para algumas espécies apenas para a taxa de crescimento. Assim, T2 apresentou taxa de crescimento significativamente maior ( $p < 0,05$ ) que T3 e T4 para as espécies *T. aurea*, *P. stipulacea* e *M. tenuiflora*, com valores de 4,65 cm.mês<sup>-1</sup>, 7,60 cm.mês<sup>-1</sup> e 8,26 cm.mês<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a espécie *M. caesalpiniifolia* o tratamento T2 também foi maior que os demais, com taxa de crescimento de 7,24 cm.mês<sup>-1</sup>. Já para as espécies *A. colubrina* e *S. tuberosa* não houve diferença estatística entre os tratamentos. As demais espécies (*M. urundeuva*, *A. occidentale* e *M. laticifera*) só foram plantadas em T2, logo não foram analisadas separadamente (Tabela 11).

**Tabela 11.** Taxa de crescimento e sobrevivência por espécie nos quatro tratamentos ao final dos 470 dias após a primeira avaliação (Assú, RN).

Espécie	Taxa de crescimento (cm.mês <sup>-1</sup> )			Sobrevivência (%)		
	T2	T3	T4	T2	T3	T4
<i>Anadenanthera colubrina</i>	3.52a	2.91a	2.71a	73	82	90
<i>Tabebuia aurea</i>	4.65a	2.83b	3.27b	100	95	90
<i>Libidibia ferrea</i>	5.68a	3.17b	4.67a	98	98	94
<i>Piptadenia stipulacea</i>	7.60a	5.96b	5.05b	100	89	99
<i>Mimosa tenuiflora</i>	8.26a	6.40b	5.68b	100	90	94
<i>Mimosa caesalpiniifolia</i>	7.24a	6.05ab	5.91b	95	93	94
<i>Spondias tuberosa</i>	2.19a	2.22a	2.20a	93	83	91
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	1.46	*	*	93	*	*
<i>Anacardium occidentale</i>	2.30	*	*	59	*	*
<i>Mimosa laticifera</i>	4.63	*	*	95	*	*

\*Espécie não foi plantada no tratamento. Médias seguidas da mesma letra na linha não apresentam diferença estatística de acordo com o teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 7.2.2 Estrutura horizontal dos indivíduos regenerantes

No total foram encontradas 97 espécies diferentes nos dois tratamentos avaliados (T1 e T4). Porém, como o número de espécies foi muito grande, a identificação foi direcionada para as 29 espécies com maior relevância fitossociológica na área de estudo. Desse grupo, as famílias mais relevantes foram Poaceae (sete espécies), Fabaceae (quatro espécies) e Malvaceae (três espécies). Três espécies não puderam ser identificadas em nível de família, 11 não em nível de espécie e 3 em nível de gênero (Tabela 12).

Com relação ao hábito de crescimento apenas três foram classificadas como arbóreas (Indet 3, *Pityrocarpa moniliformis* e *Manihot carthagenensis*), 3 eretas, 17 herbácea ereta, 2 subarborescente e 4 trepadeiras (Tabela 12). Já com relação ao ciclo de vida, das 16 espécies que foram classificadas apenas três tinham ciclo perene, sendo o restante anual.

Das 29 espécies, 14 foram classificadas com relação ao status biogeográfico sendo a espécie *Aristida adscensionis* (com maior representatividade na área experimental) uma exótica invasora e o restante nativas, sendo 10 não endêmicas ao Brasil e 3 endêmicas ao Brasil (Tabela 12).

Para os parâmetros fitossociológicos, as espécies com maiores índices de cobertura (IC), ou seja, que recobriam a maior área dos tratamentos 1 e 4 foram *Aristida adscensionis*, *Hexasepalum teres*, *Jacquemontia* sp. e Indet 1 (Tabela 13).

Entre os tratamentos, houve uma diferença no IC das espécies mais relevantes. Para T1, as espécies com maior IC foram *Aristida adscensionis*, *Hexasepalum teres* e Indet 1. Já em T4

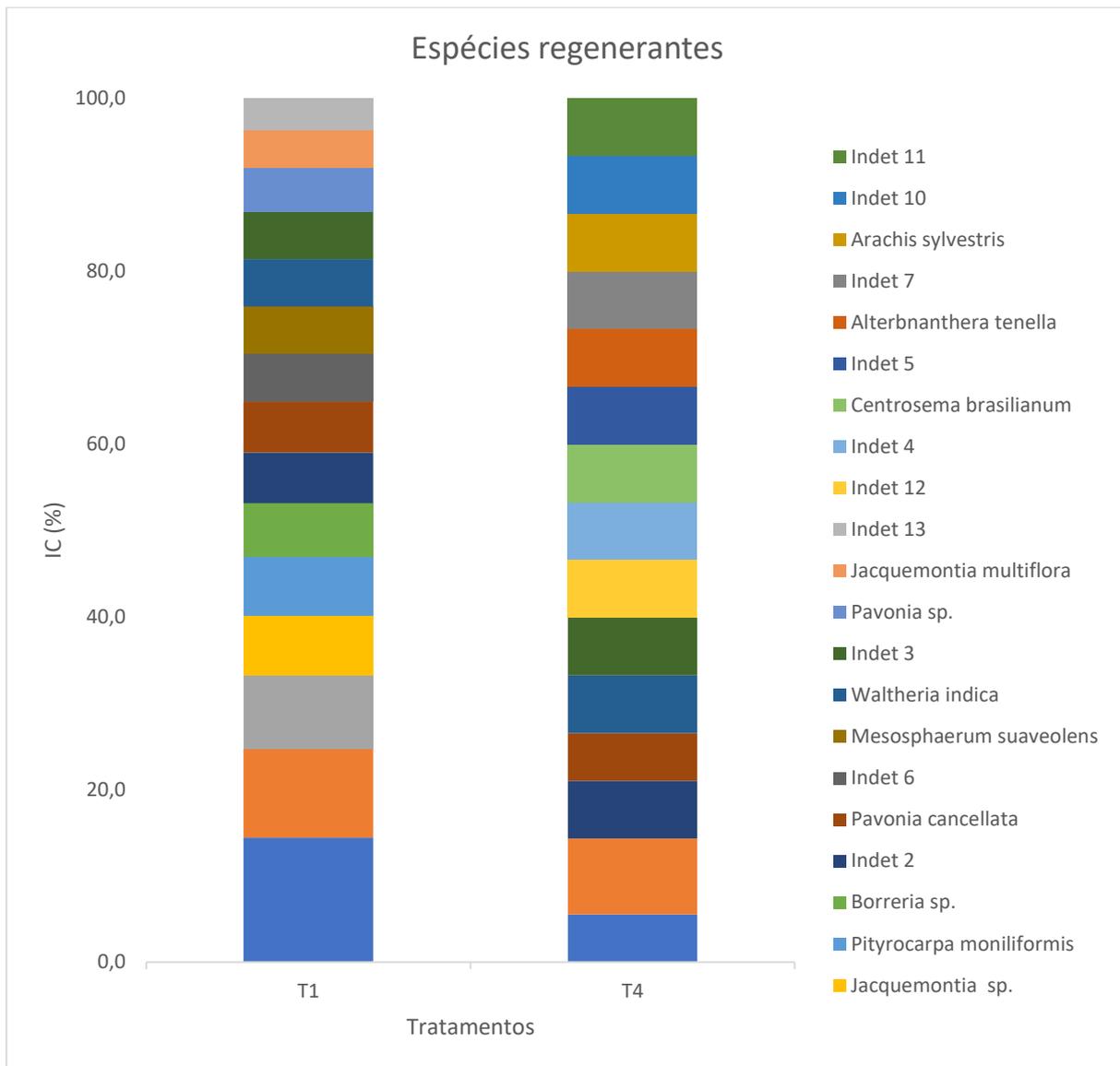
houve um equilíbrio entre as espécies sendo a *Hexasepalum teres* a mais relevante, seguida do restante das espécies encontradas nesse tratamento (Figura 14).

**Tabela 12.** Principais espécies regenerantes registradas no levantamento florístico realizado nas parcelas dos tratamentos 1 e 4. Espécies não identificadas são listadas como “Indet” + número sequencial.

Espécies	Família	Gênero	Origem	Ciclo de vida	Status biogeográfico	Hábito crescimento
<i>Alterbnanthera tenella</i> Colla	Amaranthaceae	Alternanthera	-	-	-	Herbácea rastejante (caule volúvel)
Indet 1	Asteraceae	-	-	-	-	Ereta
<i>Euploca polyphylla</i> (Lehm.) J.I.M.Melo & Semir	Boraginaceae	Euploca	Amazônia, Caatinga e Mata Atlântica	anual	nativa não endêmica do BR	Herbácea ereta
<i>Jacquemontia</i> sp.	Convolvulaceae	Jacquemontia	-	anual	-	Trepadeira/herbácea rastejante
<i>Jacquemontia multiflora</i> (Choisy) Hallier f.	Convolvulaceae	Jacquemontia	Caatinga e Cerrado	anual	nativa não endêmica do BR	Trepadeira
<i>Ipomoea bahiensis</i> Willd. Ex Roem. Schult	Convolvulaceae	Ipomoea	Todos os biomas, exceto Pampa	anual	nativa endêmica do BR	Trepadeira
Indet 11	Cyperaceae	-	-	-	-	Herbácea ereta
<i>Manihot carthagenensis</i> (Jacq.) Müll. Arg.	Euphorbiaceae	Manihot	Amazonia, Caatinga e Cerrado	perene	nativa não endêmica do BR	Árborea
<i>Centrosema brasilianum</i> (L.) Benth.	Fabaceae	Centrosema	Todos os biomas, exceto Pampa	anual	nativa não endêmica do BR	Trepadeira
<i>Arachis sylvestris</i> (A. Chev) A. Chev.	Fabaceae	Arachis	Caatinga e Cerrado	anual	nativa endêmica do BR	Ereta
<i>Chamaecrista supplex</i> (Mart. Ex Benth.) Britton & Rose ex Britton & Killip	Fabaceae_Caes	Chamaecrista	Todos os biomas, exceto Pampa	anual	nativa não endêmica do BR	Herbácea rastejante
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	Fabaceae_Mim	Pityrocarpa	Caatinga e Mata Atlântica	perene	nativa endêmica do BR	Árborea
<i>Mesosphaerum suaveolens</i> (L.) Kuntze	Lamiaceae	Mesosphaerum	Todos os biomas, exceto Pampa	anual	nativa não endêmica do BR	Subarbustivo
<i>Marsypianthes chamaedrys</i> (Vahl) Kuntze	Lamiaceae	Marsypianthes	Todos os biomas	anual	nativa não endêmica do BR	Herbácea ereta
<i>Waltheria indica</i> L.	Malvaceae	Waltheria	Ocorre em todos os biomas	perene	nativa não endêmica do BR	Subarbustivo
<i>Pavonia cancellata</i> (L.) Cav.	Malvaceae	Pavonia	Todos os biomas, exceto Pampa	anual	nativa não endêmica do BR	Herbácea rastejante
<i>Pavonia</i> sp.	Malvaceae	Pavonia	-	anual	-	Herbácea ereta
<i>Aristida adscensionis</i> L.	Poaceae	Aristida	África	anual	exótica invasora	Herbácea ereta
Indet 2	Poaceae	-	-	-	-	Herbácea ereta
Indet 4	Poaceae	-	-	-	-	Herbácea ereta
Indet 6	Poaceae	-	-	-	-	Herbácea ereta
Indet 9	Poaceae	-	-	-	-	Herbácea ereta
Indet 10	Poaceae	-	-	-	-	Herbácea ereta
Indet 3	Poaceae_Mim	Mimosa	-	-	-	Árborea
<i>Hexasepalum teres</i> (Walter) J.H.Kirkbr	Rubiaceae	Diodella	Todos os biomas	anual	nativa não endêmica do BR	Herbácea ereta
<i>Borreria</i> sp.	Rubiaceae	Borreria	-	-	-	Herbácea ereta
Indet 5	-	-	-	-	-	Herbácea ereta
Indet 7	-	-	-	-	-	Herbácea ereta
Indet 8	-	-	-	-	-	Ereta

**Tabela 13.** Estrutura horizontal dos indivíduos regenerantes dos tratamentos 1 e 4 após 631 dias da primeira avaliação. Espécies não identificadas são listadas como “Indet” + número sequencial.

Espécies	FreqAb	FreqRel	CobAb	CobRel	IC
<i>Aristida adscensionis</i>	0.63	2.38	173.08	6.19	8.56
<i>Hexasepalum teres</i>	0.75	2.89	134.62	4.62	7.51
<i>Jacquemontia</i> sp.	0.25	1.02	153.85	5.63	6.65
Indet 1	0.63	2.38	86.54	3.07	5.45
Indet 2	0.63	2.29	76.92	2.66	4.96
<i>Waltheria indica</i>	0.75	2.80	57.69	1.96	4.76
Indet 3	0.63	2.29	71.15	2.45	4.74
<i>Pavonia cancellata</i>	0.50	1.87	76.92	2.66	4.53
Indet 4	0.75	2.54	57.69	1.81	4.35
<i>Centrosema brasilianum</i>	0.75	2.54	57.69	1.81	4.35
Indet 5	0.75	2.54	57.69	1.81	4.35
<i>Jacquemontia multiflora</i>	0.50	2.04	57.69	2.11	4.15
Indet 6	0.38	1.36	76.92	2.72	4.07
<i>Mesosphaerum suaveolens</i>	0.63	2.38	48.08	1.66	4.04
<i>Alternanthera tenella</i>	0.63	2.29	48.08	1.61	3.90
Indet 7	0.63	2.29	48.08	1.61	3.90
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	0.63	2.46	34.62	1.25	3.71
<i>Borreria</i> sp.	0.50	1.95	48.08	1.71	3.66
<i>Pavonia</i> sp.	0.38	1.44	57.69	2.01	3.45
<i>Euploca polyphylla</i>	0.50	2.04	38.46	1.41	3.45
<i>Marsypianthes chamaedrys</i>	0.50	2.04	38.46	1.41	3.45
Indet 8	0.50	1.87	38.46	1.31	3.17
Indet 9	0.50	1.87	38.46	1.31	3.17
<i>Chamaecrista supplex</i>	0.50	1.87	38.46	1.31	3.17
<i>Ipomoea bahiensis</i>	0.50	1.87	38.46	1.31	3.17
<i>Manihot carthagenensis</i>	0.50	2.04	30.77	1.13	3.17
<i>Arachis sylvestris</i>	0.50	1.78	38.46	1.26	3.04
Indet 10	0.50	1.78	38.46	1.26	3.04
Indet 11	0.50	1.78	38.46	1.26	3.04



**Figura 14.** Estrutura horizontal das principais espécies regenerantes dos tratamentos 1 e 4 com base no índice de cobertura (IC%).

### 7.2.3 Análise química do solo

Os tratamentos não apresentaram diferença estatística entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para nenhuma das variáveis químicas avaliadas, decorridos 631 dias desde a implantação (Tabela 14).

**Tabela 14.** Variáveis químicas do solo analisadas aos 631 dias após a implantação do experimento.

Variáveis químicas	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
pH (H <sub>2</sub> O)	5.0	5.0	5.0	5.1
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	1.4	1.5	1.5	1.8
K (mg.dm <sup>-3</sup> )	30.7	35.7	42.0	40.0
Ca (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	1.4	1.4	2.1	2.4
Mg (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	1.4	1.8	4.1	4.7
Al (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	1.7	1.4	1.3	1.9
H+Al (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	2.8	2.8	2.8	3.3
Soma de bases - S (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	2.9	3.3	6.3	7.2
Na (mg/dm <sup>3</sup> )	4.3	6.2	11.5	21.5
Matéria orgânica (dag/dm <sup>3</sup> )	0.3	0.4	0.4	0.2
N total (dag/dm <sup>3</sup> )	0.2	0.2	0.2	0.2
CTC (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	5.6	6.0	9.1	10.5
Sat. bases - V% (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	48.2	50.7	56.0	60.1

## 7.3 DISCUSSÃO

### 7.3.1 Crescimento das espécies arbóreas e taxa de cobertura do solo

Nesse capítulo a mensuração da taxa de cobertura dos tratamentos foi realizada por meio de VANT, ferramenta que garante informações detalhadas e com precisão da área reflorestada, possibilitando uma visão geral de cada tratamento e revelando eventuais detalhes que podem não ter sido observados ao nível do solo (CHAVES et al., 2015). Essa ferramenta pode auxiliar na tomada de decisão de práticas de manejo futuras, como locais onde existe a necessidade de replantio ou mesmo algum tipo de manejo (DISPERATI et al., 2007b), sendo ainda menos oneroso que medições em campo ao nível do solo (NETO et al., 2012).

Em trabalho realizado por Machado et al. (2018), onde se caracterizou a cobertura vegetal de uma área de restinga em recuperação no município de Linhares-ES, concluiu-se que a utilização de VANT foi importante para caracterizar a área total de estudo com menor esforço em relação ao método de avaliação por pessoas em campo. Porém, os autores destacaram que não foi possível identificar com detalhes as espécies vegetais de menor porte pela fotointerpretação com a resolução e altura de voos utilizadas no trabalho.

Por conta disso, a mescla entre a utilização de imagens aéreas obtidas por VANT com os dados de mensuração da altura das espécies e sobrevivência realizadas no campo, além da avaliação da vegetação herbácea, podem ajudar a garantir um melhor monitoramento das áreas em recuperação, pois a combinação dos dados espaciais com dados de campo aumenta a precisão e melhora as decisões sobre quais ações devem ser realizadas para garantir o sucesso do reflorestamento (PULITI et al., 2017).

Os resultados obtidos para a taxa de cobertura do solo mostraram que mesmo a área controle estando bem próxima a um grande fragmento florestal nativo e tendo recebido o mesmo preparo de solo que os demais tratamentos (utilização de subsolador para romper as camadas compactadas), não ocorreu um recobrimento efetivo da área com vegetação, estando a regeneração natural apenas incipiente na área 640 dias após o plantio. A taxa de cobertura para o tratamento controle ficou bem abaixo dos demais tratamentos, indicando que a intervenção antrópica nesse tipo de ambiente é muito relevante para a recolonização vegetal.

Vale destacar que a implantação de mudas nessas áreas é importante no que diz respeito a proteção do solo que está exposto e necessita de uma rápida cobertura, pois ela é importante no controle da luz que incide diretamente no solo e também auxilia no controle da erosão hídrica e eólica (IGNÁCIO et al., 2007). Na Caatinga são comuns os eventos extremos de precipitação que podem chegar a até 100 mm em apenas um dia, o que pode causar um impacto muito grande nos solos, principalmente quando não existe cobertura alguma, levando a processo erosivos e perda das camadas superficiais. A rápida cobertura do solo pode auxiliar na estabilização do substrato além de melhorar as condições microclimáticas para o estabelecimento de outras espécies (IGNÁCIO et al., 2007).

Grande parte da taxa de cobertura dos tratamentos onde houve plantio foi proveniente das copas formadas pelas espécies *M. tenuiflora*, *M. caesalpiniifolia* e *P. stipulacea*, que apresentam rápido crescimento tanto em altura, quanto em área de copa. Mais de 75% da taxa de cobertura dos três tratamentos foi associada à copa dessas três espécies. Até mesmo T4, onde as linhas de *M. tenuiflora* e *P. stipulacea* sofreram podas anuais, apresentou contribuição dessas espécies nesse patamar, indicando que os outros indivíduos plantados têm pouca relevância para o fechamento de dossel até o prazo de avaliação. Apesar de todas as espécies utilizadas serem classificadas como heliófilas (preferência pelo crescimento e desenvolvimento em locais com grande incidência de luz) (LORENZE, 2008) cada uma tem seu ritmo de crescimento e conformação de copa e, por conta disso, existe essa diferença de ocupação do dossel.

O manejo das linhas de recobrimento (linhas de juremas) em T4 teve como finalidade favorecer o crescimento tanto em altura quanto área de copa das demais espécies presentes nas

linhas de diversidade, uma vez que, por serem heliófilas, a abertura do dossel favoreceria a entrada de luz e consequentemente o crescimento delas. Porém, até o último período de avaliação essa prática não se mostrou relevante. Isso pode indicar que as espécies de diversidade utilizadas toleram um certo nível de sombreamento. Mesmo todas as espécies sendo heliófilas, o ótimo crescimento de cada uma pode variar a depender do nível de sombreamento e local onde foi plantada. Fontes (1999), avaliando o crescimento de cinco espécies pioneiras tropicais em uma vegetação secundária, concluiu que um grupo das espécies se comportou como pioneiras verticais, tendo grande crescimento em altura, e outro grupo como pioneiras horizontais, com grande crescimento em área de copa, formando conjuntos densos no dossel.

As melhores taxas de crescimento em altura encontradas para a maioria das espécies em T2 pode estar relacionada a um certo estiolamento das plantas causado pela busca por luz (POORTER, 1999) em razão do sombreamento proporcionado pelo dossel das espécies *M. tenuiflora*, *M. caesalpinifolia* e *P. stipulacea*. Segundo Smith & Whitlam (1990), plantas submetidas a baixos índices de luminosidade tendem a aumentar o crescimento do caule, sendo esse processo considerado uma resposta morfogênica delas. Plantas adaptadas a alta luminosidade, caso das espécies da Caatinga, quando sombreadas priorizam o crescimento em altura, deslocando os fotoassimilados para esse fim, diferentemente do que ocorre para as plantas de sombra (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Em T3, apesar de também promover o sombreamento das linhas de diversidade pelas espécies de preenchimento (*M. tenuiflora* e *P. stipulacea*), por conta da disposição das mudas em campo, pode ter aumentado demasiadamente o sombreamento ao ponto de prejudicar o desenvolvimento das plantas nas linhas de diversidade.

Outra espécie que não apresentou diferença significativa entres os tratamentos foi a *S. tuberosa* sendo inclusive a que teve a menor taxa de crescimento dentre todas as espécies avaliadas. Essa espécie apresenta um pequeno crescimento nas fases iniciais de vida, direcionando nutrientes e fotoassimilados para estruturas de armazenamento no sistema radicular conhecidas com xilopódios. Os xilopódios são estruturas anatômicas responsáveis por armazenar água, nutrientes e demais solutos que tem importância para a garantia de sobrevivência nos períodos de seca (LIMA, 2001). Cavalcanti et al. (2010), estudando o crescimento de *S. tuberosa* em condições de sequeiro na Caatinga até os 10 anos de idade, também verificaram o lento crescimento dessa espécie em altura e formação de copa, mas a ocorrência de xilopódios nas raízes.

Em trabalho realizado por Drumond et al. (2001) que avaliaram o crescimento inicial da *S. tuberosa* submetidas a diferentes doses de fósforo (0, 30, 60 e 90 g/planta) e três níveis de irrigação (sem irrigação; com irrigação; com irrigação e adubação de cobertura) concluíram após 40 meses da implantação do experimento que a espécie não apresentou diferença no crescimento face aos diferentes tratamentos utilizados, tendo um crescimento médio de 1,9 cm/mês independente do tratamento. Os dados obtidos por esses autores são bem próximos aos encontrados nesse trabalho.

As espécies *A. occidentale*, *M. laticifera* e *M. urundeuva* foram plantadas apenas no tratamento T2, pois como nele foi utilizado um número menor das espécies *M. tenuiflora* e *P. stipulacea* em comparação aos tratamentos T3 e T4, optou-se por completar o número de indivíduos plantados com essas espécies. Portanto, não foi possível comparar as taxas de crescimento e sobrevivência dessas espécies nos diferentes tratamentos. Dessas espécies, *M. urundeuva* foi a que apresentou a menor taxa de crescimento, evidenciando ser uma espécie com crescimento bastante lento em comparação com as demais. O crescimento lento dela pode estar relacionado ao fato de, a exemplo da *S. tuberosa*, também apresentar a formação de xilopódios nos primeiros anos de vida para garantir a sobrevivência em ambientes de estresse hídrico (FIGUEIRÔA et al., 2004). Venturoli et al. (2011) que avaliaram o crescimento inicial de *M. urundeuva* plantada para enriquecer uma floresta secundária no cerrado encontraram

incremento periódico em altura de 9,6 cm.ano<sup>-1</sup> para ela, evidenciando o ritmo lento de crescimento. Melo & Faria (2004) avaliando o crescimento inicial em altura de várias espécies florestais no estado de São Paulo, dentre elas *M. urundeuva*, encontraram incrementos variando de 23 cm.ano<sup>-1</sup> a 35 cm.ano<sup>-1</sup>.

A alta taxa de sobrevivência de todos os indivíduos plantados (acima de 80 %), independentemente do tratamento (exceto a *colubrina* e *A. occidentale* no tratamento T2) pode estar relacionada com a rusticidade de todas as espécies utilizadas no experimento. Como são nativas e naturalizadas da Caatinga já apresentam resistência e adaptabilidade as condições extremas desse bioma e por isso não sofreram perdas significativas durante o período de avaliação do experimento. Elas estão acostumadas com grandes períodos de seca o que diminui os prejuízos causados pela oscilação da água disponível para as plantas no solo (ANGELIM et al., 2007). Outro ponto importante é que durante os quatro primeiros meses de plantio ocorreram irrigações semanais para garantir o estabelecimento delas no período mais crítico, pois as mudas recém-plantadas, mesmo rustificadas, ainda apresentam um sistema radicular pequeno dificultando a busca por água presente nas camadas mais inferiores do solo nos primeiros meses. A irrigação “facilitou” essa etapa, uma vez que a irrigação semanal garantiu o suprimento de água para as plantas de forma localizada.

Dentre todas as espécies utilizadas a *A. occidentale* teve o pior desempenho ficando com uma taxa de sobrevivência inferior a 60 %. Apesar de apresentar grande distribuição na Caatinga, podendo ser utilizada para a subsistência e geração de renda das famílias da região pelo consumo e comercialização dos frutos (BHARUCHA & PRETTY, 2010), ela parece não ser muito indicada para plantios iniciais em áreas degradadas como as características dessa tese. No capítulo um dessa tese foi possível verificar que o desempenho dela em diferentes áreas foi insatisfatório, tendo média geral de 75 % de mortalidade. Lima et al. (2017) que avaliaram o estabelecimento de espécies (dentre elas a *A. occidentale*) frutíferas do cerrado em três sistemas silvipastoris em Minas Gerais durante dois anos encontraram para essa espécie taxa de sobrevivência de 43 % dos indivíduos plantados. Salomão et al. (2014) que avaliaram índices de crescimento e sobrevivência de espécies utilizadas em reflorestamentos em área de mineração no PA, concluíram que a espécie *A. occidentale* tem baixa aptidão para ser utilizada para esse fim, com mortalidade de 90 % dos seus indivíduos plantados. Vale destacar que no trabalho desses autores a aptidão das espécies foi classificada levando em consideração o incremento em altura e diâmetro, juntamente com a taxa de mortalidade da espécie.

A taxa de crescimento e sobrevivência gerais dos tratamentos não foram influenciadas pela disposição das espécies em campo não importando durante o período de avaliação do experimento se o número de indivíduos por espécies era igual e as plantas com característica de preenchimento estavam espalhadas pela área (tratamento T2), se havia concentração em uma mesma linha das plantas de preenchimento, aumentando a proporção delas em relação as demais (tratamento T3) ou se essas as linhas de preenchimento foram podadas para aumentar o espaço no dossel para as linhas de diversidade (tratamento T4). Esses resultados podem indicar que o período de avaliação do experimento ainda não foi suficiente para que os tratamentos expressem diferenças significativas. Avaliações futuras dessa área podem ser cruciais para identificar possíveis sucessos ou fracasso nos tratamentos utilizados, pois como as espécies apresentam ritmo de crescimento diferente umas das outras, é possível que algumas acabem sendo suprimidas pelo rápido fechamento do dossel levando a morte desses indivíduos ou atrasando o crescimento e desenvolvimento deles.

A taxa global de sobrevivência de cada tratamento foi superior a 90 %, valor esse considerado bastante satisfatório em projetos de recuperação de áreas degradadas (RODRIGUES, 2009). Esse valor pode ser diferente a depender do local do reflorestamento, legislação vigente e empresa responsável pela elaboração do projeto.

Silva (2014) que avaliou a sobrevivência de nove espécies da Caatinga em ano de déficit hídrico implantadas com esterco bovino e hidrogel, encontrou taxa de sobrevivência global aos 360 dias após o plantio de 42,76 %, indo de encontro com os resultados obtidos nessa pesquisa. Já Araújo Filho et al. (2007) encontraram resultados melhores de sobrevivência geral no trabalho realizado no Ceará, que teve como objetivo selecionar espécies leguminosas nativas e exóticas para recuperação de áreas degradadas na Caatinga. Os valores encontrados durante os dois anos de avaliação foram de 80,6 % no primeiro ano e 81,5 % no segundo, após replantio realizado. Resende & Chaer (2010) também encontraram valores próximos a esse patamar no trabalho que teve como objetivo principal a seleção de espécies para recuperação de áreas degradadas na Caatinga. Foram testadas 10 espécies leguminosas e 10 não leguminosas com e sem a adição de *topsoil* e após 22 meses de avaliação os valores de sobrevivência variaram de 56 % (não leguminosas e com aplicação de *topsoil*) a 84 % (leguminosas sem aplicação de *topsoil*).

Maiores taxas de sobrevivência em projetos de recuperação de áreas degradadas são fundamentais para o sucesso da atividade, pois se busca o rápido recobrimento de toda a área degradada em menor tempo e com menor custo. Percentuais muito abaixo do ideal podem atrasar o processo de recuperação desses locais e ainda aumentar o custo final do projeto com aquisição de mudas para replantio e horas trabalhadas para realizar a atividade.

A altura total das plantas também desempenha papel fundamental nesses projetos, pois ela está diretamente ligada a taxa de crescimento delas e na velocidade com que essas plantas conseguiram crescer, formar copa e fechar o dossel, propiciando condições ideais para o crescimento e desenvolvimento das espécies mais exigentes e ainda dando suporte para a regeneração natural. Nesse trabalho a altura geral das plantas variou ao longo das avaliações apresentando diferença significativa entre os tratamentos em alguns momentos. Porém, ao final dos 470 dias após a primeira avaliação a altura geral não apresentou diferença estatística entre os tratamentos indicando que não houve influência dos tratamentos utilizados na altura das plantas naquele momento. Os autores Resende & Chaer (2010) também avaliaram a altura total no experimento conduzido para seleção de espécies e encontraram valores diferentes dos relatados por esse autor na mesma época de avaliação. A média geral no experimento deles aos 22 meses após a implantação variou de 55 cm (não leguminosas e com aplicação de *topsoil*) a 169 cm (leguminosas sem aplicação de *topsoil*).

Esses resultados evidenciam que a pesquisa deve continuar sendo conduzida uma vez que nas três primeiras avaliações houve diferença entre os tratamentos e na última não. Essa diferença nas primeiras avaliações pode estar relacionada ao tamanho com que as mudas foram plantadas, pois logo na primeira avaliação já houve diferença entre os tratamentos. A continuidade do experimento é importante, pois com o passar dos anos as diferenças no crescimento das plantas podem ser mais significativas e influenciadas pelos tratamentos empregados.

### **7.3.2 Estrutura horizontal dos indivíduos regenerantes**

Nenhuma das espécies regenerantes amostradas na área experimental é endêmica da Caatinga, tendo grande ocorrência geográfica, sendo consideradas ruderais e/ou invasoras em pastagens e culturas agrícolas.

De todas as espécies amostradas (seja no universo das 97 totais ou das 29 que foram listadas nessa tese) existe um predomínio de espécies anuais e herbáceas, tendo poucos representantes de espécies lenhosas, nativas ou exóticas. Os resultados encontrados no trabalho realizado por Ferreira et al (2014) são semelhantes ao encontrado nessa tese. Eles avaliaram a composição florística do banco de sementes no solo e na serapilheira em diferentes estágios de regeneração natural em área de Caatinga e concluíram que das 94 espécies encontradas na área

de estudo, a grande maioria apresentou hábito herbáceo. Em trabalho realizado por Pessoa (2007) foi avaliado o banco de sementes da Caatinga em encosta superior e inferior, e tipos de erosão em época de chuva e seca. Esse autor concluiu que quase 80% das espécies encontradas apresentavam hábito herbáceo. Esses resultados são similares ao encontrado por Gonçalves et al. (2011) que avaliaram os impactos da invasão biológica por *Parkinsonia aculeata* sobre o banco de sementes do solo em uma área de Caatinga.

As espécies herbáceas acabam predominando no início da colonização de uma área degradada, pois suas sementes se acumulam durante o ano no solo e conseguem germinar e completar todo seu ciclo de vida, mesmo em ambientes áridos como a Caatinga. Diferentemente, espécies arbóreas e arbustivas, mesmo germinando no solo, muitas não conseguem estabelecer nem mesmo como plântulas (FERREIRA et al., 2014).

Das 19 espécies que tiveram seus gêneros identificados, apenas 9 foram encontradas no trabalho de Ferreira et al (2014), indicando a diferença de colonização inicial das áreas degradadas. Essa diferença pode estar relacionada com a presença das camadas superficiais do solo no estudo de Ferreira et al, que mesmo sendo uma área de pastagem degradada, a presença do solo superficial preserva nutrientes, matéria orgânica e propágulos vegetais. Ao contrário, em áreas mineradas há a remoção de toda a camada superficial do solo.

O grau de degradação presente nas jazidas pode ser um fator que dificulte a regeneração natural por espécies nativas comuns em comunidades regenerantes na Caatinga como as dos gêneros Mimosa e Croton, presentes no trabalho de Ferreira et al. (2014). Essas espécies estão presentes na Caatinga nativa do entorno da área experimental (constatação visual), porém ainda não foram encontradas no levantamento de plantas regenerantes na área. Apesar da relevância desses gêneros na Caatinga, eles não são os mais abundantes nos trabalhos de banco de sementes realizado por Gonçalves et al. (2011) e Pessoa (2007).

Dentre as espécies regenerantes de maior relevância, houve um predomínio de espécies pertencentes à família Poaceae, sendo esta a mais representativa na área de estudo. Isso também ocorreu em trabalho realizado na Caatinga por Pessoa (2013). No trabalho de Costa & Araújo (2003) que avaliou a densidade, riqueza e curva de germinação do banco de sementes no solo em uma área de Caatinga também encontrou a família Poaceae como a mais relevante no estudo. Já no trabalho de Mamede & Araújo (2008), que avaliaram o efeito do corte e posteriormente fogo sobre o banco de sementes na Caatinga, a Poaceae foi a segunda família mais relevante no estudo. Esse predomínio pode estar relacionado a mecanismos de adaptação das gramíneas para sobreviver em locais degradados e ainda devido à grande capacidade de produção de sementes com alta viabilidade e longevidade, podendo germinar em diferentes tipos de solo com alta ou baixa fertilidade. Ainda, essas plantas podem se reproduzir vegetativamente e possuem grande capacidade de regeneração de suas touceiras, uma vez cortadas (PITELLI; DURIGAN, 2001).

Vale destacar que a predominância de plantas anuais pode implicar em uma maior estocasticidade no processo sucessional, tornando-o menos previsível e mais vulnerável. De um ano para outro, a composição destas comunidades pode mudar drasticamente, dependendo do desempenho das espécies do banco de sementes em regenerar suas populações na época chuvosa. Outro ponto importante é que apesar de um dos tratamentos contar com o plantio de mudas e o outro não, a forma de colonização das espécies acabou sendo a mesma nos dois tratamentos com predomínio para a família Poaceae e de plantas de hábito herbáceo. Por conta disso, as avaliações da regeneração natural devem continuar sendo realizadas para saber se os tratamentos influenciarão na população regenerante nos próximos anos.

Todos os autores dos trabalhos citados nessa discussão trabalharam com banco de sementes, ou seja, coletaram o solo na área de estudo e levaram para ambiente controlado de casa de vegetação, diferentemente do realizado nessa tese, em que se avaliou a regeneração natural *in situ*. Essa diferença no método de avaliação pode também ajudar a explicar a diferença entre as espécies encontradas nos estudos.

### 7.3.3 Análises químicas do solo

A ausência de diferença significativa na qualidade química do solo entre os tratamentos não é surpreendente, levando em consideração o curto espaço de tempo decorrido desde o plantio até a avaliação (631 dias). As características químicas têm forte tamponamento no solo, sendo variáveis pouco sensíveis, expressando melhor os resultados com maior tempo de manejo (LIMA, 2012). Espera-se que ao longo dos anos, com o aporte de serapilheira ao solo proveniente da caducifólia, o acúmulo de matéria orgânica irá influenciar positivamente no acúmulo de matéria orgânica e nutrientes no solo, melhorando as condições para o crescimento e desenvolvimento das plantas (CHAZDON, 2016). Mas, vale destacar que a perda de folhas por espécies da Caatinga ocorre com o início do período seco, quando a atividade biológica é reduzida, fazendo com que a decomposição da serapilheira apresente dinâmica diferente dos demais biomas (RESENDE & CHAER, 2010).

As podas realizadas no tratamento T4 podem ter papel fundamental no aumento da fertilidade do solo através da decomposição desse material (MARKEWITZ et al., 2004). Entretanto, até aos 26 meses, esse tratamento não chegou a influenciar na fertilidade do solo.

Alterações químicas no solo decorrentes do plantio de mudas podem levar um período significativo para serem modificadas pelas plantas. Lima (2012), avaliando o desenvolvimento inicial de 20 espécies na Caatinga e alterações químicas no solo em seis áreas diferentes, concluiu que mesmo após 30 meses decorridos da implantação, não houve alterações em atributos químicos do solo.

## 7.4 CONCLUSÕES

Apenas o isolamento da área não foi suficiente, nas condições desse estudo, para garantir o recobrimento da área com espécies regenerantes. Em contraste, o plantio de espécies arbóreas nativas e naturalizadas foi eficiente em promover a revegetação da área após 470 dias da implantação.

Os diferentes arranjos de plantio não influenciaram na taxa de crescimento e sobrevivência. Porém, quando as espécies foram avaliadas de forma separada, algumas espécies tiveram melhor desempenho no tratamento com maior diversidade e onde não se priorizou o plantio de espécies de cobertura.

Dentro do período de avaliação desse estudo, o manejo de podas de plantas com rápido crescimento em copa (linhas com juremas como plantas de preenchimento) influenciou muito pouco no crescimento em altura dos indivíduos circunvizinhos.

O uso de VANT se mostrou uma alternativa adequada para avaliação da taxa de cobertura do solo pelos tratamentos (mesmo com a irregularidade das copas das diferentes espécies), pois essa ferramenta ajudou a coletar informações detalhadas e com precisão da área reflorestada.

Os tratamentos utilizados não influenciaram na comunidade regenerante da área experimental e nem nas características químicas do solo.

## 7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem diversas metodologias na literatura de como devem ser realizados plantios de recuperação de áreas degradadas. Porém, muitas são replicadas sem que exista a certeza de que a metodologia utilizada era a mais indicada para a região em que foi implantada. O presente estudo teve como principal objetivo criar uma metodologia aplicável de forma satisfatória para a revegetação de áreas degradadas na Caatinga provenientes de atividades de mineração, mas também aplicável a áreas de estruturas descomissionadas envolvidas na atividade de prospecção e exploração de petróleo e gás natural em terra, as quais normalmente possuem a piçarra como material de aterro, a exemplo de bases de poço e centrais de resíduos.

Os resultados aqui apresentados mostraram que o simples isolamento da área degradada, mesmo que envolta por um maciço de floresta nativa, dificilmente conseguirá se recuperar em no curto ou médio prazos. Por outro lado, plantios ordenados com espécies arbóreas nativas da região podem acelerar significativamente o processo de recuperação da área. Isso pode ser comprovado pelos resultados desse estudo, onde todos os arranjos de plantio testados garantiram em um curto espaço de tempo (três anos) o recobrimento satisfatório do solo, originalmente totalmente desprovido de vegetação. Porém, estudos mais aprofundados e em maior longo prazo de avaliação devem ser realizados para resolver algumas questões, como a real necessidade e viabilidade de podas em espécies com crescimento muito vigoroso, como é o caso das juremas em geral. Nesse estudo, o tempo de avaliação pode ter sido curto para que questões relacionadas a esse tema possam ser concluídas de forma clara.

## 7.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELIM, A. E. S.; MORAES, J. P. S.; SILVA, J. A. B.; GERVÁSIO, R. C. R. G. Germinação e aspectos morfológicos de plantas de Umburana de Cheiro (*Amburana cearensis*) encontradas na região do Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p. 1062–1064, 2007.
- ARAÚJO FILHO, J. A. de.; SOUSA, F. B. de.; SILVA, N. L. da.; BEZERRA, T. S. Avaliação de leguminosas arbóreas, para recuperação de solos e repovoamento em áreas degradadas, Quixeramobim-CE. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. Vol.2 No.2, p. 1592–1595, 2007.
- BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, p. 1–48, 2015.
- BHARUCHA, Z.; PRETTY, J. The roles and values of wild foods in agricultural systems. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 365, n.1, p. 2913–2926, 2010.
- CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M.; FILHO, A. C. P. Imagens de alta resolução espacial de veículos aéreos não tripulados (VANT) no planejamento do uso e ocupação do solo. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. v. 38, p. 147–156, 2015.
- CAVALCANTI, N. DE. B.; RESENDE, G. M. DE.; BRITO, L. T. DE. L. O Crescimento de plantas de imbuzeiro (*Spondias tuberosa* ARRUDA) no semi-árido de Pernambuco. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. v. 7, n. 3, p. 021–031, 2010.
- CHAVES, A. A.; SCALEA, R. A. la.; COLTURATO, A. B.; KAWABATA, C. L. O.; FURTATO, E. L.; BRANCO, K. R. L. J. C. Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação. In: **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. João Pessoa-PB, Brasil, 2015.
- CHAZDON, R. L. **Renascimento de florestas: regeneração na era do desmatamento**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- CORRÊA, R. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado - Manual para revegetação**, 2007.
- COSTA, R. C.; ARAÚJO, F. S. Densidade, germinação e flora do banco de sementes no solo, no final da estação seca, em uma área de caatinga, Quixadá, CE. **Acta Botânica Brasílica**. v.17, n.2, p. 259–264, 2003.

- DAJOZ, R. **Ecologia geral. 2a edição.** Editora Vozes. São Paulo, 1973.
- DISPERATI, A. A.; SANTOS, J. R.; OLIVEIRA-SILVA, P. C.; NEEFF, T. Aplicação da técnica “filtragem de locais máximas” em fotografia aérea digital para a contagem de copas em reflorestamento de *Pinus elliottii*. **Scientia Forestalis**, v. 76, p. 45–55, 2007.
- DRUMOND, M. A.; NASCIMENTO, C. E. DE S.; MORGADO, L. B. Desenvolvimento inicial do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) no semi-árido pernambucano. In: Simposio brasileiro de captacao de agua de chuva no semi-árido, 3.,2001, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo** 3a. ed. Brasília: EMBRAPA, 2017.
- FAUSTINO, R. **Melhoria na tomada de decisão com imagens de RPAS em tempo real.** Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2018.
- FERREIRA, C. D.; SOUTO, P. C.; LUCENA, D. S.; SALES, F. da C. V.; SOUTO, J. S. Florística do banco de sementes no solo em diferentes estágios de regeneração natural de Caatinga. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v.9, n.4, p. 562–569, 2014.
- FIGUEIRÔA, J. M.; BARBOSA, D. C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Alemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. v. 18, , p. 573–580, 2004.
- FONTES, M. A. L. Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. **Scientia Forestalis**, v. n. 55, p. 79–87, 1999.
- GONÇALVES, G. S.; ANDRADE, L. A.; XAVIER, K. R. F.; OLIVEIRA, B., L. S.; MOURA, M. A. Estudo do banco de sementes do solo em uma área de caatinga invadida por *Parkinsonia aculeata* L. **Revista Brasileira de Biociências**, v.9, n.4, p. 428–436, 2011.
- IGNÁCIO, E. D.; ATTANASIO, C. M.; TONIATO, M. T. Z. Monitoramento de plantios de restauração de florestas ciliares: microbacia do Ribeirão São João, Mineiros do Tietê, SP. **Revista Instituto Florestal**, v. 19(2), p. 137–148, 2007.
- JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, ET AL. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.** Brasília: EMBRAPA, p. 109–134, 2014.
- LENTH, R. V. Least-squares means: The R package lsmeans. **Journal of Statistical Software**,

v. 69, n. 1, p. 1–33, 2016.

LIMA-NETO, E. M. de.; BIONDI, D.; ARAKI, H.; BOBROWSKI, R. Fotografias aéreas para mensuração da área de copa das árvores de ruas de Curitiba – PR. **Floresta, Curitiba, PR**, v. v. 42, , p. 577–586, 2012.

LIMA, I. L. P.; SCARIOT, A.; GIROLDO, A. B. Enriquecimento de sistemas silvopastoris com mudas de espécies nativas do Cerrado. In: **Anais... VI CLAA, X CBA e V SEMDF – Vol. 13, N° 1. Cadernos de Agroecologia**, 2018.

LIMA, K. D. R. **Avaliação de espécies arbóreas e técnicas de plantio para recuperação de áreas degradadas por exploração de piçarra na caatinga**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, RN, 2012.

LIMA, L. F. N.; ARAÚJO, J. E. V.; ESPÍNDOLA, A. C. M. Umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.). **Série Frutas Nativas**, 6. Jaboticabal: Funep, 2000, p. 29, 2001.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2008. v. 1, 2008.

MACHADO, F. S.; CRUZ, I. R.; PAES, J. E. S.; SANTOS, J. L. B.; NASCIMENTO, M. C. P.; SOARES, O. D.; VIDAL, G. M. **Utilização de drone para a caracterização de uma restinga em recuperação após a instalação de gasoduto**. Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2018.

MAMEDE, M. A.; ARAÚJO, F. S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of Caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.72, n.4, p. 458–470, 2008.

MARKEWITZ, D.; DAVIDSON, E.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. **Ecological Applications**, v. v. 14, , p. 177–199, 2004.

MELO, A. C. G.; FARIA, H. H. Três ensaios de crescimento para espécies arbóreas de valor comercial em plantio consorciado a espécies pioneira em Paraguaçu Paulista, SP. In: VILAS-BOAS, O.; DURIGAN, G. (Eds.). **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental do Oeste Paulista: Resultados da cooperação Brasil/Japão**. São Paulo: Instituto Florestal, 2004.

MELO, F. P. L.; BASSO, F. A.; SIQUEIRA FILHO, J. A. Restauração ecológica da Caatinga: desafios e oportunidades. In: SIQUEIRA FILHO, J. A. (Ed.). **A flora das caatingas do**

- Rio São Francisco: história natural e conservação.** Rio de Janeiro, 552p. il. cap. 11. p. 396–421, 2012.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology.** New York: John Wiley and Sons, 1974.
- ODUM, E. P. **Ecologia.** University of Georgia. Ed. Guanabara. Rio de Janeiro, 1988.
- PESSOA, L. M. **Variação espacial e sazonal do banco de sementes do solo em uma área de caatinga, Serra Talhada, PE.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007.
- PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. Ecologia das plantas daninhas no sistema plantio direto. In: ROSSELLO, R. D. (Ed.). **Siembra directa em el cono sur.** Montevideo: PROCISUR, 2001. p. 203–210.
- POOTER, L. Growth responses of 15 rains forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, Oxford, v. v. 13, , p. 396–410, 1999.
- PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: INARA R. LEAL; MARCELO TABARELLI; JOSÉ MARIA CARDOSO DA SILVA (Ed.). **Ecologia e Conservação da Caatinga.** Universitá ed. Recife-PE: p. 822, 2003.
- PULITI, S.; ENE, L. T.; GAOBAKKEN, T.; NAESSET, E. Use of partial-coverage UAV data in sampling for large scale forest inventories. **Remote Sensing of Environment**, v. v.194, p. 115–126, 2017.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2018. Disponível em: <http://www.R-project.org/> Acesso em: 16/08/2019.
- RESENDE, A. S. DE; CHAER, G. M. **Manual para recuperação de áreas degradadas por extração de piçarra na Caatinga.** Seropédica-RJ. Embrapa Agrobiologia, 2010.
- RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil.** 2º edição ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda, 1997.
- RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. **Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal,** 2009.

- ROSA, S. F. **Propriedades físicas e químicas de um solo arenoso sob o cultivo de Eucalyptus spp. Santa Maria, RS.** 94f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2010.
- SALOMÃO, R. P.; JÚNIOR, S. B.; ROSA, N. A. Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na Amazônia. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. v.38, n.1, p. 1–24, 2014.
- SANTOS, F. M. **Sistemas agroflorestais sucessionais com mognos-africanos: aspectos silviculturais e recuperação de funções ecossistêmicas.** 188f. Tese (doutorado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Seropédica, RJ, 2019.
- SER. **Society for Ecological Restoration International. Science & Policy Working Group,** 2004.
- SILVA, A. DE. P.; GONÇALVES, M. DA. P. M.; CHAGAS, A. O. V. DAS. Efeito da escassez de chuvas na sobrevivência de espécies nativas da caatinga em área em recuperação. In: **Anais... VIII Simpósio Brasileiro de Pós-graduação em Ciências Florestais.** p. 455–458, 2014.
- SMITH, H.; WHITELAM, G. C. Phytochrome, a family of photoreceptors with multiple physiological roles. **Plant Cell and Environment**, v. 13, p. 695–707, 1990.
- SOBRINHO, J. E.; PEREIRA, C. V.; OLIVEIRA, A. D.; SANTOS, W. O.; SILVA, N. K. C.; MANIÇOBA, R. N. Climatologia da precipitação no município de Mossoró-RN. Período: 1900-2010. In: **XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – SESC Centro de Turismo de Guarapari,** 2011.
- SOUTO, J. S. Nucleating technique used for ecological restoration in the semiarid region of Brazil. In: **Anais... The European Conference on Ecological Restoration September České Budějovice, Czech Republic.** p. 93, 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- VENTUROLI, F.; FAGG, C. W.; FELFILI, J. M. Desenvolvimento inicial de *Dipteryx alata* Vogel e *Myracrodruon urundeuva* Allemão em plantio de enriquecimento de uma floresta estacional semidecídua secundária. **Bioscience Journal, Uberlândia**, v. 27, p. 482–493, 2011.
- VIEIRA, H, DOS S. **Recomposição vegetal utilizando a regeneração artificial, com e sem irrigação, em áreas ciliar do alto Sertão Sergipano.** Dissertação (Mestrado em Ecologia

e Conservação) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2012.

ZUUR, A. F. et al. **Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R**. New York: Springer-Verlag, 2009.

## **CAPÍTULO III**

**Avaliação da sobrevivência e desenvolvimento inicial de espécies arbóreas plantadas sob condições de déficit hídrico em jazidas de piçarra na caatinga**

## RESUMO

Jazidas de exploração de piçarra estão associadas à atividade de exploração e produção de petróleo em terra no bioma Caatinga. Após o encerramento das jazidas, é necessário recompor a vegetação nativa, processo dificultado pela degradação do solo e pelo curto e irregular período de chuvas da região. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de cinco espécies arbóreas nativas submetidas a diferentes estratégias de suporte a sobrevivência durante o período de seca. O experimento foi instalado em julho de 2017 em uma jazida de piçarra no município de Pendências, RN. O delineamento experimental foi um fatorial 2x2x2 em blocos casualizados com cinco repetições. Os fatores e respectivos níveis testados foram (1) tipo de muda: comum ou com sistema radicular alongado até 1 m de profundidade produzidas em canos de pvc; (2) cobertura morta: com ou sem aplicação de palha de carnaúba e (3) forma de irrigação: com aplicação de água ou com aplicação de hidrogel na cova de plantio. As espécies avaliadas foram *Amburana cearensis*, *Anadenanthera colubrina*, *Bauhinia cheilantha*, *Mimosa tenuiflora* e *Pseudobombax marginatum*. Após 180 dias do plantio foi observada alta taxa de sobrevivência das plantas, independente do tratamento. Não obstante, a utilização de MRA aumentou em 10% a sobrevivência das espécies *A. colubrina* e *A. cearensis*, mas reduziu em 10 % a sobrevivência de *M. tenuiflora* em relação às mudas convencionais. *P. marginatum* obteve maior sobrevivência quando plantada sem a aplicação da palha de carnaúba. *B. cheilantha*, mesmo tendo baixa sobrevivência, apresentou melhores resultados para as variáveis sobrevivência e taxa de crescimento com a aplicação da palha de carnaúba. As mudas convencionais favoreceram o crescimento das espécies *A. colubrina*, *A. cearensis* e *P. marginatum*, sendo que para a primeira espécie o maior crescimento foi associado a utilização da palha de carnaúba e para a segunda espécie o melhor crescimento foi sem a aplicação desse resíduo. A palha também favoreceu o crescimento da espécie *M. tenuiflora*, enquanto para *B. cheilantha* as maiores taxas de crescimento foram obtidas para os plantios sem a utilização de hidrogel. Os resultados mostram que a utilização de mudas com sistema de raízes alongadas proporcionou resultados variados a depender da espécie e das características que foram avaliadas, nas condições desse experimento. O mesmo ocorreu para a aplicação do hidrogel e da palha de carnaúba.

**Palavras-chave:** gel de plantio; condicionador de solo; cobertura morta; palha de carnaúba; extração mineral; recuperação de áreas degradadas.

## ABSTRACT

Gravel exploration deposits are associated with on-shore oil exploration and production activities in the Caatinga biome. After the deposits are closed, it is necessary to restore the native vegetation, a process hampered by soil degradation and the short and irregular rainy season in this semiarid region. The objective of this work was to evaluate the performance of five native tree species submitted to different strategies to support survival during the drought period. The experiment was installed in July 2017 in a decommissioned gravel mine used by Petrobras in Pendências, RN. The experimental design was a 2x2x2 factorial in randomized blocks with five replications. The factors and respective levels tested were (1) type of seedling: common or with root system elongated up to 1 m deep produced in pvc pipes; (2) mulch: with or without application of carnauba straw as mulching and (3) form of irrigation: with application of water or hydrogel in the planting pit. The species evaluated were *Amburana cearensis*, *Anadenanthera colubrina*, *Bauhinia cheilantha*, *Mimosa tenuiflora* and *Pseudobombax marginatum*. A high plant survival rate was observed 180 days after planting, regardless of treatment. Nevertheless, the use of MRA increased the survival of the species *A. colubrina* and *A. cearensis* by 10%, but reduced the survival of *M. tenuiflora* in relation to conventional seedlings by 10%. *P. marginatum* obtained greater survival when planted without the application of the carnauba mulch. *B. cheilantha*, despite having low survival, showed better results for the variables survival and growth rate with the application of the carnauba mulch. Conventional seedlings favored the growth of the species *A. colubrina*, *A. cearensis* and *P. marginatum*, and for the first species, the greatest growth was associated with the use of the carnauba mulch, and for the second species, the best growth was without the application of this residue. The mulching also favored the growth of the species *M. tenuiflora*, while for *B. cheilantha* the highest growth rates were obtained for plantations without the use of hydrogel. The results show that the use of seedlings with an elongated root system provided varied results depending on the species and the characteristics that were evaluated, under the conditions of this experiment. The same occurred for the application of hydrogel and carnauba mulch.

**Keywords:** planting gel; soil conditioner; mulch; carnauba straw; mineral extraction; recovery of degraded areas.

## 8. INTRODUÇÃO

O bioma da Caatinga tem passado por um acelerado processo de degradação por conta de usos da terra que privilegiam a simplificação da estrutura e a redução da diversidade das formas de vida do ecossistema (BARBOSA, 2012; DRUMOND, 2000; RODAL et al., 2008; SOARES, 2012). Nesse contexto, pode-se citar como atividades de maior impacto à biodiversidade nesse bioma as atividades agropecuárias, de mineração e extrativistas (CASTELLETTI et al., 2004).

Projetos e pesquisas voltados à recuperação de ambientes degradados na Caatinga são escassos. Ademais, tais estudos devem ser focados no desenvolvimento de técnicas voltadas para cada condição específica existente tanto em nível regional como local (LIMA, 2012; MELO et al., 2012; SOUTO, 2012; VIEIRA, H, 2012).

A Caatinga é caracterizada por índices de pluviosidade em torno de 400 a 700 mm e os eventos de precipitação são intensos chegando a ultrapassar 100 mm em apenas um dia. A sazonalidade é bastante irregular, com chuvas iniciando em meses diferentes, prolongando por períodos incertos e encerrando em meses diferentes de um ano para o outro (GARIGLIO et al., 2010). Ademais, os índices de evapotranspiração são elevados, decorrentes de temperaturas altas durante praticamente todo o ano e de altos índices de insolação (GOMES, 2017). Devido a esses fatores, projetos de recuperação de áreas degradadas na Caatinga enfrentam dificuldades técnicas singulares, principalmente para lidar com a baixa e incerta disponibilidade hídrica.

Algumas soluções tecnológicas têm sido testadas com relativo sucesso para a recuperação florestal na Caatinga. Um exemplo é a produção de mudas em canos de PVC de 1 m de comprimento, visando alongar o sistema radicular das mudas previamente ao plantio. Assim, as mudas têm maior acesso à água em profundidade, resultando em maiores índices de sobrevivência em campo. A tecnologia de mudas de raízes alongadas está sendo desenvolvida pela equipe de pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), sob coordenação da Prof. Gislene Ganade, do Centro de Biociências (dados não publicados).

Outras alternativas utilizadas para garantir água disponível no solo por mais tempo para as plantas são o hidrogel e a cobertura morta (*mulching*). O hidrogel funciona como condicionador de solo capaz de absorver e reter grandes quantidades de água e disponibilizá-la para o meio de forma lenta. Já a cobertura morta possui a função de reduzir a insolação direta sobre o solo, reduzindo a temperatura e a perda de água por evaporação. Essas técnicas foram avaliadas por Filho (2016) no Ceará com a espécie *Enterolobium contortisilliquum*. O autor concluiu que a utilização desses dois insumos, em dosagens adequadas, contribui para aumentar a taxa de sobrevivência e de crescimento da espécie.

Este trabalho teve como objetivo comparar a sobrevivência e o crescimento de cinco espécies arbóreas da Caatinga submetidas a diferentes estratégias de suporte a sobrevivência durante o período da seca. Os fatores testados nesse estudo foram o uso de mudas de raízes alongadas, de hidrogel e de cobertura morta com palha de carnaúba.

## 8.1 MATERIAL E MÉTODOS

### 8.1.1 Caracterização da área de estudo

A caracterização da área de estudo desse capítulo foi a mesma descrita no capítulo II dessa tese no item 7.1.1 (Caracterização da área de estudo). O preparo da área de estudo desse capítulo também foi a mesma realizada no capítulo II dessa tese no item 7.1.2 (Delineamento experimental).

A fertilidade da área de estudo foi avaliada a partir de coletas de solo realizadas em novembro de 2017 (estação seca). As amostras foram retiradas na profundidade de 0-10 cm com auxílio de enxada em número de cinco amostras simples para compor uma amostra composta por parcela. As amostras foram passadas em peneira com malha de 2 mm no momento da coleta e acondicionadas em saco plástico devidamente identificados e encaminhadas para o Laboratório da Embrapa Agrobiologia para análise de fertilidade conforme Embrapa (2005) (Tabela 15).

**Tabela 15.** Caracterização química do solo (0 a 10 cm) do substrato de piçarra da jazida J-111, local de instalação do experimento (Assú, RN).

Área	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	(H+Al)
		----- mg/L -----			----- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----		
J-111	4,93	0,60	49,20	2,06	2,45	0,09	4,95

pH (potenciometria), P (colorimetria), K (fotometria de chama), Ca e Mg (absorção atômica), Al (titulação) e H+Al (titulação) (EMBRAPA, 2005).

### 8.1.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi um fatorial 2x2x2 em blocos casualizados com cinco repetições. Os fatores testados foram (1) tipo de muda: convencional (mc) ou com sistema radicular alongado (mrl); (2) cobertura morta: com (+bc) ou sem aplicação de palha de carnaúba (-bc) e (3) forma de irrigação: com aplicação de água (ag) ou com aplicação de hidrogel na cova de plantio (g). As espécies avaliadas foram *Amburana cearensis* (Allemão) A.C.Sm., *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud., *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. e *Pseudobombax marginatum* (A.St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns. Nesse estudo, cada planta constitui-se em uma unidade experimental.

As mudas convencionais foram produzidas em sacolas plásticas de 14 cm por 20 cm. Anteriormente ao plantio, foram demarcados os berços de plantio seguindo o espaçamento 2 m por 2 m, totalizando 40 berços de plantio por repetição. Os berços para as mudas convencionais foram abertos com o auxílio de motocoveadora com broca acoplada, nas dimensões 0,4 m por 0,4 m de largura x 0,4 m de profundidade.

As mudas com sistema radicular alongado foram produzidas no viveiro da Floresta Nacional de Açu, RN, utilizando a técnica de alongamento de raízes. A técnica consiste no transplante de mudas com até 20 cm de altura para tubos de PVC de 1 m de comprimento e 75 mm de diâmetro preenchidos com substrato. Previamente ao preenchimento com substrato, os tubos são cortados longitudinalmente em duas metades e, posteriormente, as duas partes são reunidas com cintas de borracha ou velcro. Após o replantio das mudas para o novo recipiente de PVC, estes são colocados sobre uma estrutura para irrigação pela base, o que estimula o crescimento das raízes até a base. O período total de formação dessas mudas leva cerca de 1 ano, independente da espécie. Essa técnica foi desenvolvida pelo Laboratório de Ecologia da

Restauração da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (LER-UFRN) (DAMASCENO, 2016).

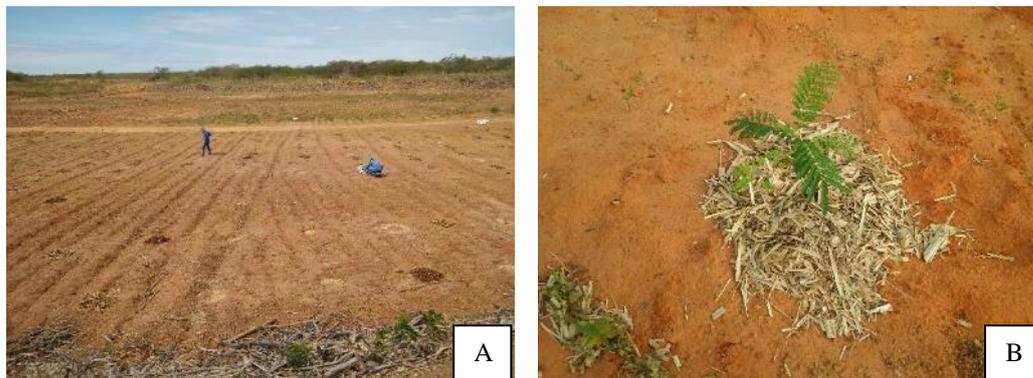
Para o plantio das mudas com sistema radicular alongado foram realizados berços de plantio nas dimensões de 1,10 m por 0,2 m. A abertura dos berços foi realizada com motocoveadora até 50 cm de profundidade e, na sequência, com cavadeira articulada até 110 cm (Figuras 15 A e 15 B). Após essa etapa, as mudas foram distribuídas nos berços ainda no tubo PVC, mas já sem as cintas. Os berços foram fechados e só então as duas partes do PVC foram retiradas (Figuras 15 E e 15 F).

O hidrogel (Hydroplan-EB, polímeros de alta qualidade e pureza) foi previamente hidratado com água em proporção recomendada pelo fabricante. Foram aplicados três litros de hidrogel no fundo dos berços anteriormente ao plantio (Figura 15 C). Nos tratamentos que não receberam hidrogel, foi realizada uma irrigação com 7 L de água (T5 e T7) aplicados no fundo dos berços anteriormente ao plantio (Figura 15 D).



**Figura 15.** Abertura de berços de plantio com auxílio de motocoveadora (A) e cavadeira articulada (B). Aplicação de hidrogel para os tratamentos T6 e T8 (C) e aplicação de água nos tratamentos T5 e T7 (D). Retirada do PVC da muda (E) e muda plantada (F) (Assú, RN).

Após o plantio das mudas foi aplicada a palha de carnaúba nos tratamentos correspondentes. Foram espalhados 10 L/planta de palha em um raio de 25 cm na projeção da copa das plantas, deixando uma camada de aproximadamente 2 cm do material (Figura 16).



**Figura 16.** Aplicação de palha de carnaúba no experimento (A) e muda com palha de carnaúba aplicada (B) (Assú, RN).

Em todos os tratamentos foram aplicados 50 g de superfosfato simples e 10 g de FTE BR12 por berço, assim como descrito no capítulo I dessa tese no item 6.2 (Delineamento experimental).

### 8.1.3 Avaliações

#### 8.1.3.1 Crescimento e sobrevivência das espécies arbóreas

Foram realizadas avaliações da sobrevivência e do crescimento das plantas através das mensurações da altura total, taxa de crescimento, área de copa e taxa de sobrevivência em quatro datas, sendo duas realizadas ao final da estação seca (179 e 564 dias após o plantio) e duas realizadas ao final da estação chuvosa (96 e 366 dias após o plantio).

As avaliações seguiram a mesma metodologia utilizada no item 6.3.1 (Crescimento e sobrevivência das espécies arbóreas) do capítulo I dessa tese.

#### 8.1.4 Análise dos dados

A taxa de crescimento em altura e em área de copa foram analisadas através de uma anova fatorial, considerando o delineamento em blocos casualizados. Foi testada a normalidade dos dados através do teste de Shapiro-Wilk, bem como a homogeneidade através do teste de Bartlett. Após esses testes verificou-se que algumas espécies não atendiam aos pressupostos de normalidade e homogeneidade; portanto, optou-se por analisar os dados através de uma árvore de classificação e regressão (CART), sendo esta técnica utilizada para modelagens de precisão de atributos discretos e contínuos (Breiman et al., 1984). Na CART a variável resposta é dividida em subconjuntos com base em suas relações com as variáveis exploratórias. Para esta análise, os dados foram ajustados realizando a subtração dos coeficientes encontrados no quadro de ANOVA de cada bloco dos valores da variável resposta para excluir o efeito dos blocos na análise final. Para as análises foram utilizados os pacotes *tidyverse*, *rpart*, *rpart.plot*, *caret*, *ranger*, *openxlsx*, *ggplot2* e *MASS*, ferramentas presentes no programa computacional R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018).

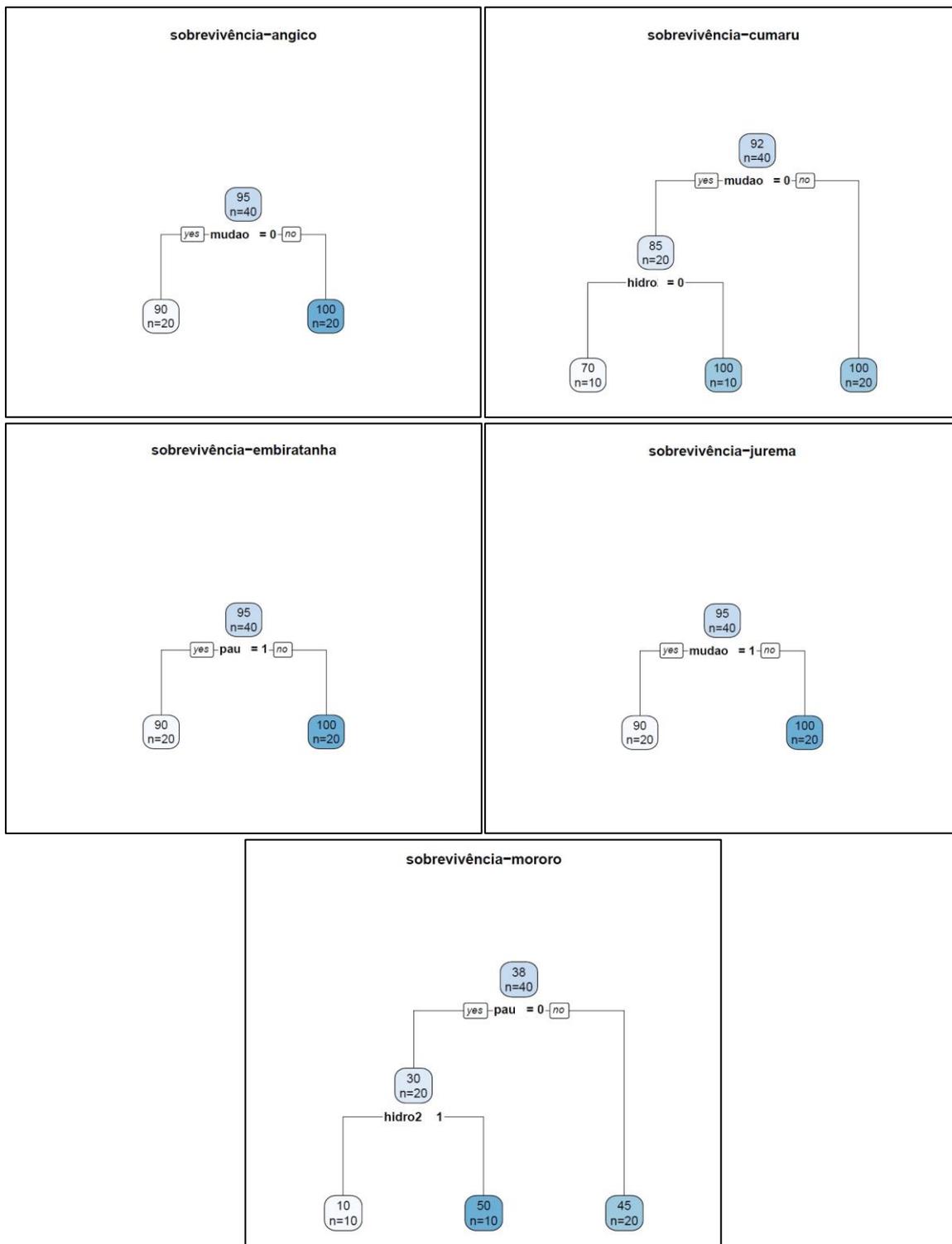
## 8.2 RESULTADOS

O experimento foi avaliado durante 564 dias, período este que compreendeu quatro avaliações, sendo duas realizadas ao final da estação seca entre novembro e dezembro (179 e 564 dias após o plantio) e duas realizadas ao final da estação chuvosa entre maio e junho (96 e 366 dias após o plantio) de cada ano.

Ao final dos 564 dias, as espécies *Anadenanthera colubrina* (angico), *Amburana cearensis* (cumaru) e *Pseudobombax marginatum* (embiratanha) apresentaram taxa de sobrevivência igual ou superior a 90%, independente do tratamento (Figura 17). *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta) também apresentou sobrevivência de todas as plantas, exceto aquelas plantadas com mudas de raízes alongadas (MRA) na ausência de hidrogel.

*Bauhinia cheilantha* (mororó) foi a espécie que obteve as menores taxas de sobrevivência entre as espécies estudadas tendo apenas 45% de sobrevivência quando os indivíduos plantados tiveram a aplicação de palha de carnaúba como cobertura morta e de apenas 10% de sobrevivência quando as mudas foram plantadas sem palha e com hidrogel no momento do plantio. Já as mudas plantadas sem a palha e sem hidrogel a sobrevivência foi de 50% (Figura 17).

É importante ressaltar que como consequência do delineamento experimental realizado, a variável taxa de sobrevivência não possui repetições por tratamento, uma vez que cada valor gerado é obtido a partir da observação de todas as unidades experimentais de cada tratamento. Logo, as diferenças relatadas acima e apresentadas na figura 17, são apenas de caráter descritivo, não sendo possível inferir estatisticamente sobre diferenças entre tratamentos.



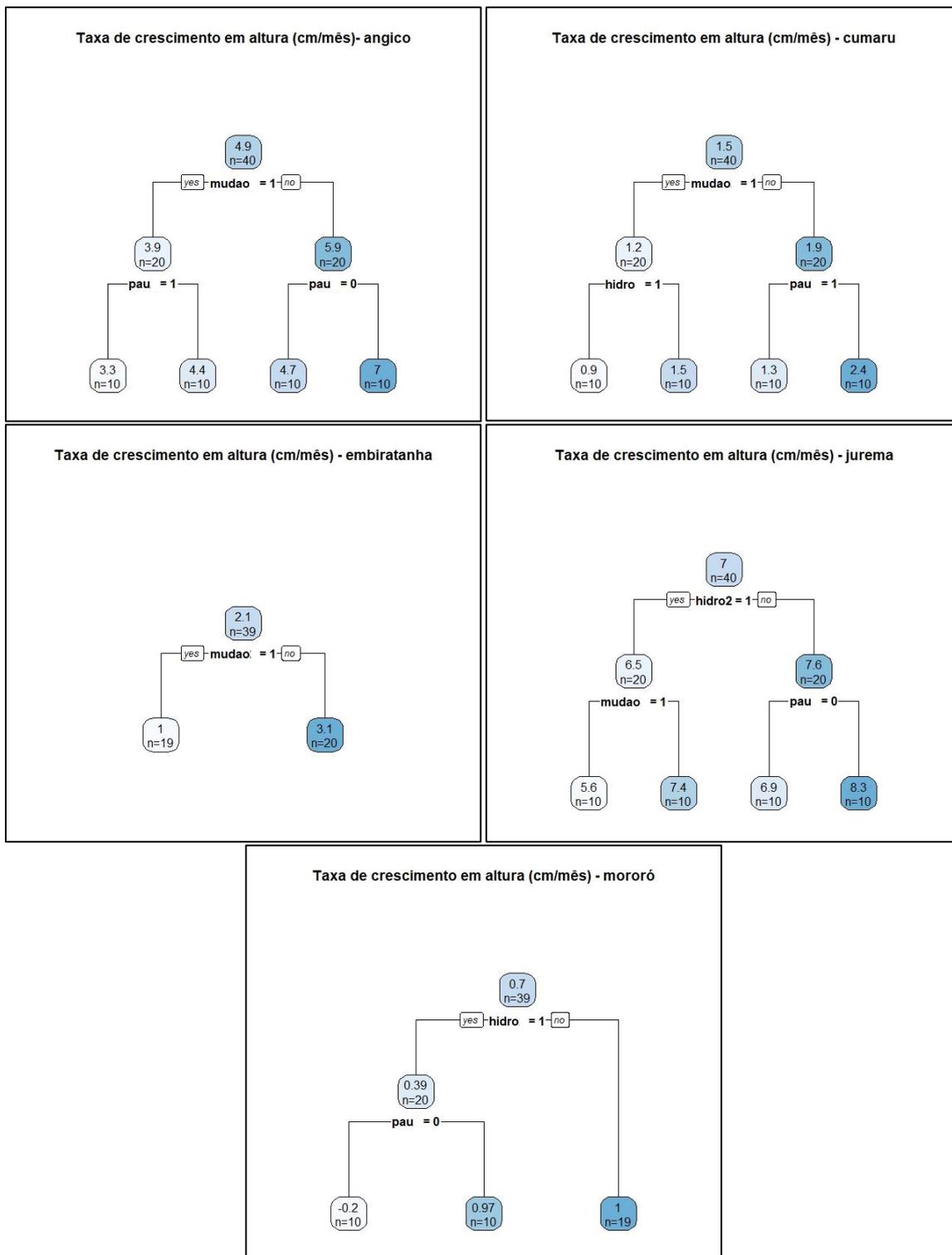
**Figura 17.** Modelo de árvore de classificação e regressão (CART) explicando a taxa de sobrevivência das espécies *Anadenanthera colubrina* (angico), *Amburana cearensis* (cumaru), *Pseudobombax marginatum* (embiratanha), *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta) e *Bauhinia cheilantha* (mororó) em função do tipo de muda (muda convencional = 0/muda com sistema radicular alongado = 1); aplicação de hidrogel no plantio (sim = 1/não = 0) e; uso de cobertura morta de palha de carnaúba (sim = 1/não = 0).

### 8.2.2 Taxa de crescimento e área de copa

A taxa de crescimento da espécie *Pseudobombax marginatum* diferiu apenas entre as taxas de crescimento em função do fator tipo de muda. Para essa espécie, o crescimento foi maior quando o plantio utilizou mudas convencionais, com taxa de crescimento média de 3,1 cm.mês<sup>-1</sup>. Com a utilização de mudas MRA essa taxa foi de 1 cm.mês<sup>-1</sup> (Figura 18).

As espécies *Mimosa tenuiflora* e *Bauhinia cheilantha* tiveram taxas de crescimento distintas em função da aplicação de hidrogel no plantio, diferentemente do ocorrido para as outras espécies descritas anteriormente que apresentaram efeito do tipo de muda. A *Mimosa tenuiflora* apresentou maior taxa de crescimento, com valor médio de 8,3 cm.mês<sup>-1</sup>, quando o plantio foi realizado sem aplicação de hidrogel e associado a utilização de palha de carnaúba. Já quando o plantio foi realizado com hidrogel, porém sem palha, a taxa de crescimento média foi de 6,9 cm.mês<sup>-1</sup> (Figura 18). O menor crescimento dessa espécie foi associado ao plantio com a aplicação de hidrogel e mudas com raiz alongada com taxa de 5,6 cm.mês<sup>-1</sup>. A taxa de crescimento das plantas com aplicação de hidrogel foi melhor quando o plantio foi feito com mudas convencionais com taxa de 7,4 cm.mês<sup>-1</sup>.

Para a *Bauhinia cheilantha* a maior taxa de crescimento foi obtida para os plantios realizados sem a aplicação de hidrogel no plantio, com taxa de 1 cm.mês<sup>-1</sup>. Já com a utilização de hidrogel a taxa de crescimento foi de 0,97 cm.mês<sup>-1</sup> quando o plantio foi realizado com aplicação de palha e 0,2 cm.mês<sup>-1</sup> sem a aplicação desse resíduo como cobertura morta (Figura 18).

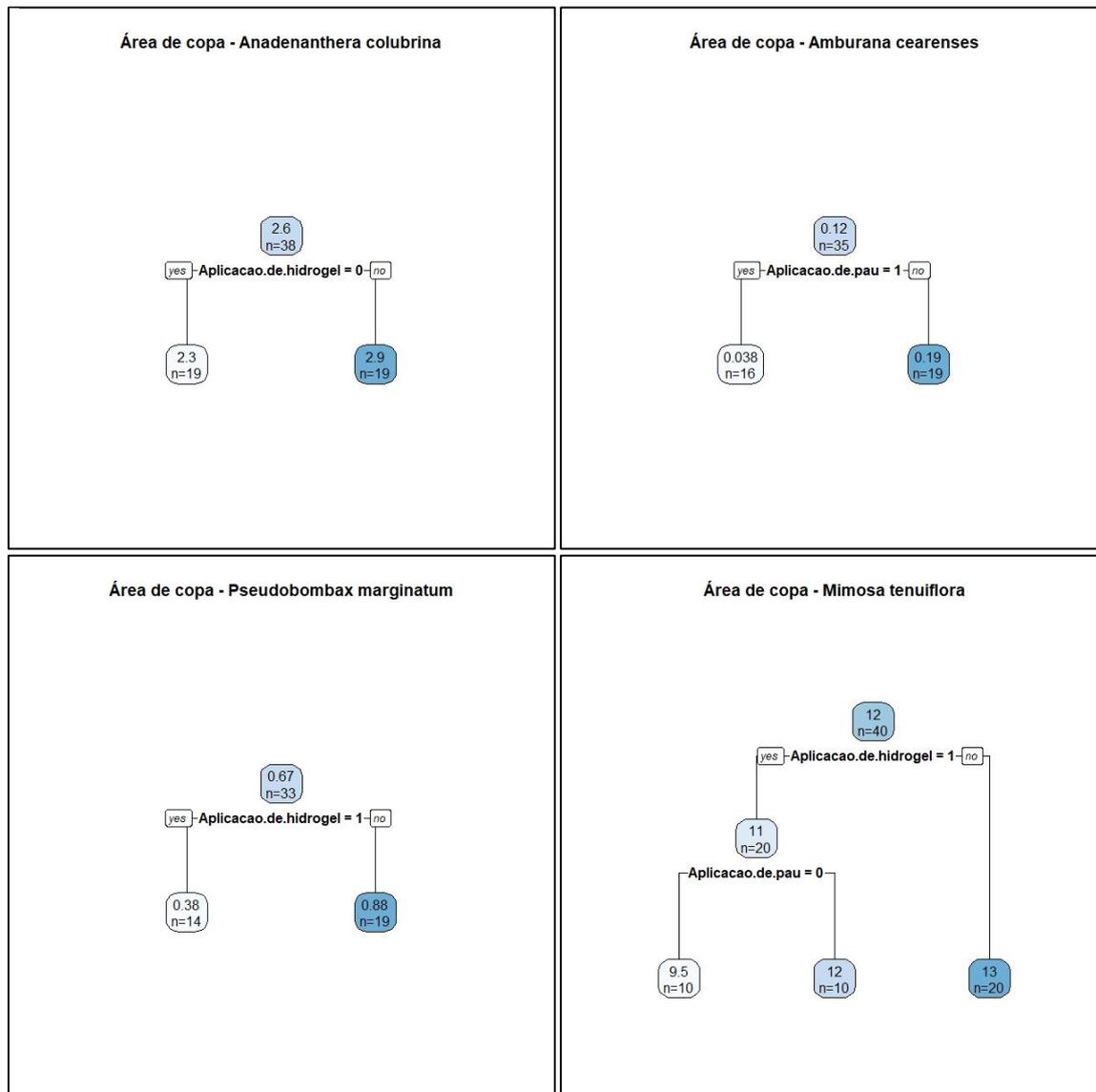


**Figura 18.** Modelo de árvore de classificação e regressão (CART) explicando a taxa de crescimento das espécies *Anadenanthera colubrina* (angico), *Amburana cearensis* (cumaru), *Pseudobombax marginatum* (embiratanha), *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta) e *Bauhinia cheilantha* (mororó) em função do tipo de muda (muda convencional = 0/muda com sistema radicular alongado = 1); aplicação de hidrogel no plantio (sim = 1/não = 0) e uso de cobertura morta de palha de carnaúba (sim = 1/não = 0).

Das cinco espécies estudadas, três (*Anadenanthera colubrina*, *Mimosa tenuiflora* e *Pseudobombax marginatum*) tiveram a primeira ramificação da árvore de classificação em função do fator aplicação de hidrogel no plantio (Figura 19). Para a espécie *Anadenanthera colubrina* a área de copa foi maior, com valor médio de 2,9 m<sup>2</sup>, quando houve a aplicação de hidrogel. Já sem a aplicação de hidrogel a área de copa média foi de 2,3 m<sup>2</sup>. A espécie *Pseudobombax marginatum* apresentou área de copa maior quando não houve a aplicação de hidrogel (0,88 m<sup>2</sup>) e menor quando houve a aplicação de hidrogel (0,38 m<sup>2</sup>). Área de copa maior sem a aplicação de hidrogel também foi encontrada para a espécie *Mimosa tenuiflora* com valor médio de 13 m<sup>2</sup>. Já com a aplicação de hidrogel, associado a não aplicação de palha de carnaúba, a área de copa média foi de 9,5 m<sup>2</sup>. Mas, quando houve a aplicação de hidrogel e palha a área de copa média foi de 12 m<sup>2</sup> (Figura 19).

O fator aplicação de palha foi o responsável pela ramificação da árvore de classificação da espécie *Amburana cearensis* para a área de copa indicando que o maior crescimento foi obtido quando não houve aplicação de palha de carnaúba (0,19 m<sup>2</sup>) e o menor quando houve aplicação (0,038 m<sup>2</sup>).

A *Bauhinia cheilantha* foi a única espécie que não apresentou nenhum tipo de ramificação na árvore de classificação, indicando que nenhum fator estudado influenciou a área de copa da espécie que apresentou área de copa média de 0,25 m<sup>2</sup>.



**Figura 19.** Modelos de árvore de classificação e regressão (CART) explicando a área de copa das espécies *Anadenanthera colubrina* (angico), *Amburana cearensis* (cumaru), *Pseudobombax marginatum* (embiratanha) e *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta) em função tipo de muda (muda convencional = 0/muda com sistema radicular alongado = 1); aplicação de hidrogel no plantio (sim = 1/não = 0) e aplicação de cobertura morta de palha de carnaúba (sim = 1/não = 0).

## 8.3 DISCUSSÃO

### 8.3.1 Taxa de Sobrevivência

A taxa de sobrevivência das espécies *Anadenanthera colubrina*, *Mimosa tenuiflora* e *Pseudobombax marginatum*, independente da combinação dos fatores estudados, apresentou valores considerados bons em projetos de recuperação, pois se levarmos em consideração os limites aceitáveis de taxa de mortalidade em reflorestamento que varia entre 5% a 10% do total plantado (RODRIGUES, 2009) as taxas encontradas para essas espécies estão de acordo. Vale destacar que esse limite aceitável é variável a depender da finalidade do reflorestamento, legislação regional e empresa responsável pela elaboração do memorial descritivo (GONÇALVES, 2016).

O comportamento das espécies *Anadenanthera colubrina* e *mimosa tenuiflora* foi contrário para o fator tipo de muda. Para a primeira, a taxa de sobrevivência foi maior com a utilização de mudas de raiz alongada e para a segunda espécie a taxa de sobrevivência foi maior utilizando mudas convencionais. Essa alta taxa de sobrevivência das duas espécies pode ser explicada, pois elas se destacam por serem rústicas o suficiente para suportarem as condições de aridez da região. Essas espécies também formam sistema radicular profundo, sendo indicadas para implantação inicial em áreas degradadas (MAIA, 2004).

A alta taxa de sobrevivência da *A. colubrina*, independentemente do tratamento, pode ser justificada também por se tratar de uma espécie que tem mecanismos naturais de proteção a seca, como perda total das folhas e sistema radicular tuberoso (SILVA & BARBOSA, 2000), que permite a essa espécie suportar as altas temperaturas e os baixos índices pluviométricos da Caatinga. Essa espécie é considerada homeoídrica, ou seja, possui em sua constituição um grande vacúolo e a hidratação do protoplasma depende pouco das variações externas, por conta da água estocada no vacúolo estabilizar o grau de hidratação celular (LARCHER, 1970). A espécie é considerada como pertencente ao grupo das árvores áridas passivas, sendo plantas perenes, lenhosas e decíduas, restringindo os processos metabólicos de fotossíntese e de respiração (SILVA & BARBOSA, 2000). Silva & Barbosa (2000) analisaram a taxa de sobrevivência e crescimento da regeneração natural de indivíduos da espécie *A. colubrina* jovens (altura inferior a 1,60 m) e juvenis (altura entre 1,60 m – 3,00 m) durante a estação seca na Caatinga em Pernambuco. O estudo mostrou que a espécie é indicada para locais com grandes períodos de seca, pois a taxa de sobrevivência no período foi de 73,3%. É bom destacar que nesse trabalho de Silva & Barbosa as plantas estudadas já estavam estabelecidas quando o estudo foi iniciado, portanto essa taxa de sobrevivência pode ser diferente se o estudo for realizado desde a implantação das mudas no campo.

A espécie *M. tenuiflora* também apresentou alta taxa de sobrevivência sob as condições desse estudo. Essa espécie é considerada ideal para estabelecimento em ambientes muito antropizados, sendo indicada como uma das primeiras espécies que devem ser implantadas em áreas degradadas na Caatinga para que possam auxiliar na melhora das condições do sítio para a introdução posterior de espécies mais exigentes (MAIA, 2004; SILVA E MIRAPALHETA, 1991). Porém, Sales (2008) encontrou resultados antagônicos quando avaliou a eficiência do reflorestamento de áreas degradadas na Caatinga com mudas de *M. tenuiflora* em covas enriquecidas com esterco, obtendo índice de 40% de sobrevivência dos indivíduos implantados. Vale destacar que aos 17 meses de idade após o plantio ocorreu um incidente na área com o pastejo acidental de ovinos e caprinos, que pode ter contribuído para um aumento significativo na taxa de mortalidade da espécie. Antes desse incidente a taxa de sobrevivência da espécie era de 93,9%, valor esse bem próximo ao encontrado nesse trabalho. Essa alta taxa ocorreu mesmo com o experimento implantado após o fim da estação chuvosa, ou seja, quando a precipitação na região é praticamente nula, indicando que essa espécie tem potencial para ser introduzida em áreas degradadas mesmo após a estação chuvosa.

Em outro estudo de Figueiredo (2010), estudando a sobrevivência e crescimento inicial de três espécies da Caatinga em áreas degradadas na Paraíba, dentre elas a *M. tenuiflora*, encontrou taxa de sobrevivência de 96% para *M. tenuiflora*, valor muito semelhante ao encontrado nesse trabalho.

A maioria das espécies da Caatinga tem como estratégia principal para sobrevivência nas épocas de seca a perda parcial ou total das folhas (Barbosa; Barbosa; Lima, 2003), pois com isso diminuem a perda de água e o metabolismo, garantindo a sobrevivência da espécie durante a época seca do ano. É o caso da espécie *P. marginatum*, que após a estação chuvosa perde todas as suas folhas e ramos, restando apenas o caule, principalmente quando os indivíduos são jovens. Esse fato pode explicar a alta taxa de sobrevivência da espécie nesse trabalho, independente dos tratamentos analisados, com valores acima de 90%.

Para a *P. marginatum* a sobrevivência foi ligeiramente maior quando não houve aplicação de palha de carnaúba como cobertura morta, aumentando de 90% para 100%. Entretanto, esse resultado não permite afirmar que houve um desfavorecimento da espécie quando houve a aplicação da cobertura morta. Filho (2016) testou diferentes doses de hidrogel, em associação ou não com a palha como cobertura morta no estabelecimento e crescimento da espécie *Enterolobium contortisilliquum* no Ceará. Em contraste a esse estudo, os resultados de Filho (2016) mostraram que a utilização de palha como cobertura morta aumentou a taxa de sobrevivência para aquela espécie.

Nesse trabalho a maior taxa de sobrevivência foi obtida para os tratamentos em que não houve a aplicação de hidrogel e cobertura morta para a espécie *B. cheilantha*. Esse resultado contrasta com aqueles encontrados por Filho (2016) cujo tratamentos com aplicação de hidrogel e palha obtiveram a maior taxa de sobrevivência. É importante destacar, entretanto, que para a espécie *B. cheilantha* a maior taxa de sobrevivência foi de apenas 50% dos indivíduos e quando houve a aplicação apenas de palha como cobertura morta, essa taxa foi de 45%. Já quando o tratamento teve a aplicação de hidrogel, porém sem a palha, a taxa de sobrevivência foi de apenas 10% dos indivíduos, evidenciando que para essa espécie, nas condições desse estudo a aplicação de hidrogel não favoreceu a sobrevivência dela. Vale destacar que alguns autores indicam a ineficiência do hidrogel em armazenamento de água na presença de alguns nutrientes como Ca e Mg (SITA et al., 2005) e as análises de solo desse estudo indicam quantidades consideráveis desses dois nutrientes.

Algumas espécies, principalmente dos biomas com grandes períodos de estiagem como a Caatinga suportam as variações de água no solo que ocorrem entre as épocas de chuva e estiagem (TROVÃO et al., 2007), sendo essa uma das características principais dessas espécies para se manterem nesses biomas com baixas taxas de mortalidade. Elas desenvolveram mecanismos funcionais para sobreviver nessas condições como aprofundamento do sistema radicular, produção de estruturas de reserva nas raízes, diminuição do tamanho das folhas ou perda total ou parcial delas, aumento caulinar, entre outras. Essas são características da *A. cearensis* que, por conta disso, sua utilização é indicada para projetos de recuperação de áreas degradadas tanto nas fases iniciais, onde existe o predomínio de luz solar, quanto nas fases posteriores com intenso sombreamento (PIMENTEL, 2015). Os resultados desse estudo para a *A. cearensis* mostram que todos os indivíduos plantados com sistema radicular alongado sobreviveram. Esse tipo de muda possibilita que a planta explore quantidade maior de solo, podendo acessar água na profundidade de até 1 m desde o momento do plantio. Outros estudos com mudas de raízes alongadas mostraram que elas possuem maior capacidade para sobreviver em períodos de estiagem em comparação às mudas convencionais (BEYER et al., 2016).

Já quando analisamos apenas as mudas convencionais de *A. cearensis*, temos que a taxa de sobrevivência delas na presença do hidrogel foi maior (100%) quando comparada às que foram plantadas sem hidrogel (70%). Isso pode sugerir que a aplicação desse condicionador de solo favoreceu a sobrevivência da espécie, pois este ajuda a reter e disponibilizar água para os

plantios nas fases iniciais de estabelecimento (AZEVEDO et al., 2006). Porém, os resultados do trabalho realizado por Angelim et al. (2007) sugerem o contrário. Eles testaram quatro tratamentos utilizando esterco como condicionador de solo sendo eles: T1- solo puro (100%); T2- 75% solo + 25% esterco; T3- 50% solo + 50% esterco; T4- 25% solo + 75% esterco no estabelecimento da espécie *A. cearensis*. A conclusão do estudo mostrou que a taxa de sobrevivência da espécie é independente da presença de condicionadores de solo, pois está bem adaptada a condições de déficit hídrico e baixa concentração de matéria orgânica.

Nesse estudo, a taxa de sobrevivência das espécies variou com relação aos três fatores testados (tipo de muda, aplicação de hidrogel e aplicação de palha). O hidrogel se mostrou relevante para promover a sobrevivência de algumas espécies, mas prejudicial para a sobrevivência de outras. Isso demonstra que cada espécie tem um tipo de comportamento e suas especificidades o que dificulta ainda mais recomendações específicas de utilização de um desses fatores estudados. Sugere-se que estudos similares sejam realizados com um maior número de espécies nativas do bioma, de modo a assegurar a efetividade das técnicas propostas em garantir a sobrevivência de mudas em áreas degradadas durante períodos de estiagem.

### 8.3.2 Taxa de crescimento e área de copa

A espécie *P. marginatum* apresentou melhor crescimento para mudas convencionais, com crescimento três vezes maior do que o encontrado para as mudas com sistema radicular alongado nas condições em que esse estudo foi desenvolvido. Damasceno (2016), cujo o trabalho teve como objetivo avaliar o custo-benefício de 20 métodos diferentes de recuperação provenientes da combinação de água, folha sobre o solo, água e folha, agrofloresta, controle e quatro tratamentos de forma das mudas (planta de raiz e parte aérea pequena, planta de raiz pequena e parte aérea grande, planta de raiz grande e parte aérea pequena e planta de raiz grande e parte aérea pequena), concluiu que as mudas com raiz grande tiveram maior crescimento em altura quando comparado a mudas com raiz pequena, indicando que o crescimento das plantas foi favorecido por esse método, diferentemente do encontrado para esse trabalho. Vale destacar que o trabalho de Damasceno foi desenvolvido em área ciliar, bem próximo a um rio, onde provavelmente a profundidade que o lençol freático é encontrado é menor se comparado as condições desse estudo que foi desenvolvido em área de extração de piçarra. Portanto, essa maior proximidade do lençol em relação a superfície no trabalho de Damasceno pode ter favorecido o crescimento das mudas com raiz grande.

A espécie *A. colubrina* apresentou melhor desenvolvimento quando utilizadas mudas convencionais concomitante ao uso de palha de carnaúba como cobertura morta. A cobertura morta ou *mulching* atua como uma camada protetora e pode auxiliar na manutenção da água por mais tempo no solo (FIDALSKI et al., 2010), também resultando em temperaturas menores no solo (GONÇALVES, 2016). Esse favorecimento para mudas convencionais pode estar relacionado à maior disponibilidade de água e temperaturas mais amenas na região onde estão concentrados os pelos absorventes das raízes dessas plantas. Diferentemente, plantas com raiz alongada apresentam pelos absorventes nas camadas mais profundas, podendo não obter benefício pela presença da cobertura morta.

Esse padrão de comportamento não foi observado para a espécie *A. cearensis* que obteve melhor crescimento quando as mudas convencionais foram plantadas sem a aplicação de palha como cobertura morta, indicando que para ela o *mulching* não teve benefício. Outro fato que chama a atenção para essa espécie é que o hidrogel não influenciou positivamente no crescimento das plantas quando elas tinham sistema radicular alongado. A diferença de crescimento dessa espécie com sistema radicular alongado sem a utilização de hidrogel foi 60% maior se comparado com as plantas que utilizaram hidrogel.

Pimentel; Guerra (2015), cujo trabalho teve como objetivo verificar o comportamento das mudas de *A. cearensis* em sistema agroflorestal, testaram diferentes níveis de matéria orgânica (0, 15 e 30 L de esterco na cova), utilizando ou não cobertura morta como mulching concluiu que a presença da cobertura morta não garantiu melhor crescimento para as plantas durante o período de estudo. Ele também concluiu que a adição de esterco (que também pode desempenhar a função de condicionador de solo, a exemplo do hidrogel) não influenciou positivamente no ganho de altura da espécie, corroborando com o encontrado para esse trabalho.

Angelim et al. (2007) também não encontrou diferenças no crescimento das plântulas de *A. cearensis* quando implantadas na presença de matéria orgânica nos primeiros 150 dias de vida. Eles trabalharam com quatro doses diferentes de esterco (T1 = solo puro (100 %), T2 = 75 % solo + 25 % esterco humificado, T3 = 50 % solo + 50 % esterco humificado e T4 = 25 % solo + 75 % esterco humificado) e concluíram que os melhores resultados de crescimento das plantas foram obtidos no T1 (solo puro).

O comportamento da *A. cearensis* pode estar relacionado com sua grande adaptabilidade as condições extremas do bioma Caatinga, com elevadas temperaturas e déficit hídrico e isso pode ter contribuído para que ela não apresentasse respostas positivas a aplicação de condicionadores de solo ou coberturas mortas (ANGELIM et al., 2007). Outro fator que pode ter influenciado diz respeito ao sistema radicular da espécie, pois no período de estiagem ela direciona boa parte dos nutrientes para as partes subterrâneas da planta, diminuindo sobremaneira o crescimento da parte aérea (PIMENTEL & GUERRA, 2011).

*A. cearensis* pertence a um grupo de espécies da Caatinga que perdem suas folhas antes mesmo do fim da estação chuvosa, iniciando a produção de brotos novos ainda durante a estação seca. As plantas desse grupo, diferentemente do que muitos pensam, perdem ou emitem suas folhas na maioria das vezes em decorrência do fotoperíodo e não da presença ou ausência de chuvas, afetando drasticamente o crescimento das mesmas (PIMENTEL, 2008). Alguns autores como Borchert & Rivera (2001) realizaram estudos com algumas plantas de regiões áridas e verificaram que elas permaneciam inativas do início até meados da estação seca mesmo quando eram irrigadas. Esses autores concluíram que a variação sazonal no fotoperíodo era o fator primordial da produção de novas brotações e não a água.

A dormência e o crescimento de algumas espécies das regiões áridas, como é o caso da *A. cearensis*, ocorrem de forma alternada e mais sincronizados com o fotoperíodo, energia solar e temperatura do ambiente do que com a variação de precipitação da região (FIGUEIREDO, 2008). Essa espécie está bem adaptada as condições adversas da Caatinga, tais como longos períodos de estiagem e temperaturas elevadas e isso pode ter contribuído para que ela tenha apresentado melhor crescimento nos tratamentos sem aplicação de hidrogel e palha de carnaúba (PIMENTEL & GUERRA, 2011).

A adaptação das espécies nesse bioma de condições adversas é importantíssima para a garantia do crescimento e desenvolvimento delas em campo, pois caso contrário a recuperação dessas áreas degradadas ficará impossibilitada, principalmente se levarmos em consideração o longo período de estiagem na Caatinga.

A *M. tenuiflora* parece ser outra espécie bastante adaptada a essas condições, sendo pioneira de rápido crescimento e que se estabelece com facilidade em sítios degradados (MAIA, 2004). Os resultados de crescimento encontrados para ela nesse trabalho demonstraram que a espécie apresentou bons índices de crescimento em todos os tratamentos testados, indicando o bom crescimento dela, independentemente da forma que foi plantada. Nesse estudo o melhor crescimento foi obtido pelo tratamento que utilizou mudas (convencionais ou com raiz grande) sem a aplicação de hidrogel, porém com a aplicação de palha de carnaúba. O mulching funcionou como um condicionador de solo para a planta uma vez que se formou uma barreira protetora na área de projeção da copa da planta, diminuindo a evaporação da água e

consequentemente a conservação dela no solo por mais tempo (FIDALSKI et al., 2010), beneficiando o crescimento da espécie. Para a *M. tenuiflora* a palha de carnaúba foi mais eficaz como condicionador de solo do que o hidrogel aplicado nos tratamentos. Segundo Filho (2016) doses inferiores a 2,5 g/L podem não apresentar diferenças significativas se comparados aos tratamentos que não utilizam o hidrogel. Provavelmente, a quantidade de água armazenada/disponível para a planta através desse condicionador não é suficiente para promover o crescimento delas. Nesse estudo foram utilizadas 5 g/planta de hidrogel (recomendação do fabricante) diluídos em dois litros de água, obtendo assim 2,5 g/L do produto.

Para a espécie *B. cheilantha* a aplicação de hidrogel também não beneficiou o crescimento dela em campo, uma vez que a taxa de crescimento da espécie com a aplicação de hidrogel e palha foi praticamente a mesma se comparado as que foram implantadas sem hidrogel e palha.

Mas é importante destacar que os resultados encontrados na literatura sobre a quantidade ótima de hidrogel para promoção do crescimento das plantas é bastante variado e muitos desses estudos foram conduzidos em condições controladas de casa de vegetação, não tendo sido testados em campo.

Para a área de copa as diferenças obtidas através dos fatores testados foram bem pequenas. Dos três fatores testados, o tipo de muda não afetou de forma positiva ou negativa o crescimento da copa de nenhuma das cinco espécies estudadas, não sendo responsável por nenhuma ramificação da árvore de classificação. Essa variável não apresentou nenhum tipo de relação com o tipo de muda utilizado, sendo indiferente a utilização de mudas convencionais ou com raiz alongada.

Para as espécies *A. cearensis*, *B. cheilantha* e *P. marginatum* os valores de área de copa foram baixos e isso pode estar relacionado com a característica de perda de folhas durante a estação seca para regulação hídrica das plantas, diminuindo sobremaneira a área de copa dos indivíduos. Dessas espécies, apenas uma (*B. cheilantha*) não apresentou preferência pela aplicação de nenhum fator, enquanto as outras duas foram sensíveis a aplicação de um determinado fator.

A *P. marginatum* perde suas folhas no período de transição entre as estações chuvosa e seca para a direcionar toda a energia na produção de flores e posteriormente fruto (PEQUENO, 2016). Essa característica pode ter influenciado os baixos valores encontrados para todas os fatores estudados no trabalho para essa espécie, sendo o fator aplicação de hidrogel o único com diferença de crescimento. Mesmo assim, o favorecimento do crescimento da área de copa quando não há aplicação de hidrogel é muito pequeno se comparado quando houve a aplicação do hidrogel. Esse fator afetou de forma distinta as espécies, tendo sua aplicação favorecido ligeiramente o crescimento de copa da *A. colubrina* e causando o efeito contrário para as espécies *P. marginatum* e *M. tenuiflora*.

Essa resposta positiva para a aplicação de hidrogel na área de copa da *A. colubrina* pode estar relacionada a maior disponibilidade de água na região da raiz das plantas, pois assim elas podem apresentar baixa razão raiz/parte aérea, já que plantas sujeitas a estresse hídrico tendem a ter elevada razão raiz/parte aérea (RAMOS, et al., 2003). Nesse sentido, a espécie não necessita direcionar todo desenvolvimento para o sistema radicular, diminuindo as perdas das folhas e aumentando a área de copa.

O comportamento da *M. tenuiflora* para essa variável indica que essa espécie tem um bom crescimento da sua copa com qualquer dos fatores testados (tipo de muda, hidrogel, cobertura morta ou associação deles). Os resultados encontrados sugerem uma pequena preferência da espécie para essa variável quando não é aplicado hidrogel ou palha, independentemente do tipo de muda testado. Esses resultados são semelhantes aos encontrados para a variável taxa de crescimento, quando nenhum fator foi preponderante para um ótimo

crescimento da espécie por conta da sua grande adaptabilidade ao ambiente de estresse hídrico e altas temperaturas.

É importante destacar que os resultados encontrados nesse trabalho foram distintos de acordo com a espécie que está sendo estudada, sendo difícil indicar uma quantidade ideal de hidrogel, a utilização ou não de *mulching* ou um tipo de muda adequada que favoreça a sobrevivência e crescimento das plantas. Trabalhos assim norteiam e dão base para futuros experimentos que devem continuar sendo conduzidos para que essas questões sejam respondidas com mais clareza.

## **8.4 CONCLUSÃO**

Os resultados mostram que a utilização de mudas com sistema de raízes alongadas proporcionou resultados variados a depender da espécie e das características que foram avaliadas, nas condições desse experimento. O mesmo ocorreu para a aplicação do hidrogel e palha de carnaúba.

Em síntese, sob as condições desse estudo, as estratégias testadas para suporte à sobrevivência durante o período de seca não apresentaram resultados consistentes para que se possa recomendá-las em plantios de recuperação em áreas degradadas pela exploração de piçarra na Caatinga. Estudos similares devem ser conduzidos com um maior número de espécies nativas do bioma para assegurar o grau de efetividade das técnicas propostas.

## 8.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse estudo, a utilização de mudas com sistema radicular alongado (SRA) não se mostrou vantajosa para o plantio realizado em uma jazida de piçarra, pois as mudas convencionas apresentaram desempenho igual ou melhor que estas. Ainda, levando-se em consideração o maior gasto envolvido na produção de mudas SRA em viveiro e da maior dificuldade de plantio destas em campo em relação às tradicionais, não se justifica a sua recomendação de plantio para a revegetação de jazidas de piçarra. Vale destacar, entretanto, que estudos envolvendo o reflorestamento de áreas com solos não decapitados na Caatinga têm mostrado um desempenho superior das mudas SRA em relação às tradicionais. Nessas situações pode ser justificável o maior custo de produção e de plantio dessas mudas.

Similarmente, com relação a utilização de hidrogel e palha de carnaúba, os resultados não foram consistentes em indicar o favorecimento na sobrevivência e crescimento das espécies. Cabe ressaltar que o presente estudo foi realizado com um número limitado de espécies e em uma única condição de jazida, as quais podem apresentar tipos de substrato bem distintos. Portanto, é desejável que novos estudos sejam realizados com um leque maior de espécies e em diferentes jazidas, de modo a se obter uma conclusão mais robusta sobre as vantagens do uso desses insumos. Esse mesmo raciocínio pode também ser aplicado às mudas SRA.

## 8.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELIM, A. E. S.; MORAES, J. P. S.; SILVA, J. A. B.; GERVÁSIO, R. C. R. G. Germinação e aspectos morfológicos de plantas de Umburana de Cheiro (*Amburana cearensis*) encontradas na região do Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p. 1062–1064, 2007.
- AZEVEDO, T. L. DE F.; BERTONHA, A.; DE FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A.C.A.; REZENDE, R.; DALLACORT, R.; E BERTONHA, L. C. Retenção de soluções de sulfatos por hidrogel de policrilamida. **Acta Sci. Agron.**, v. 28, p. 287–290, 2006.
- BARBOSA, D. C. A.; BARBOSA, M. C. A.; LIMA, L. C. M. Fenologia das espécies lenhosas da Caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Eds.). . **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 657–694, 2003.
- BARBOSA, M. D. **Composição florística, regeneração natural, decomposição e ciclagem de nutrientes, em área de caatinga hipoxerófila em Arcoverde, Pernambuco**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.
- BEYER, M.; KOENIGER, P.; GAJ, M.; HAMUTOKO, J.T.; WANKE, H.; HIMMELSBACH, T. A Deuterium-based labeling technique for the investigation of rooting depths, water uptake dynamics and unsaturated zone water transport in semiarid environments. **Journal of Hydrology**, v. 533, p. 627–643, 2016.
- BORCHERT, R.; RIVERA, G. Photoperiodic control of seasonal development and dormancy in tropical stem succulent trees. **Tree Physiology**, v.21, p. 213–221, 2001.
- BREIMAN, L. FRIEDMAN, J.; STONE, J. C.; OLSHEN, R. A. **Classification and Regression Trees**, p. 368, 1984.
- CASTELLETTI, C. H. M. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J. M. C. et al. (Eds.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. p. 91–100, 2004.
- DAMASCENO, E. S. **Quanto custa restaurar a caatinga? uma análise de custo-benefício de métodos de restauração ecológica**. Monografia - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.
- DRUMOND, M. A. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: **Workshop avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação**,

**utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma caatinga.**

**Petrolina:** p. 1–23, 2000.

FIDALSKI, J.; AULER, P. A. M.; BERALDO, J. M. G.; MARUR, J. C.; FARIA, R. T. de.; BARBOSA, G. M. de C. Availability Of Soil Water Under Tillage Systems, Mulch Management And Citrus Rootstocks. **Revista Brasileira de ciências do Solo**, v. 34., p. 917–924, 2010.

FIGUEIREDO, J. M. **Revegetação de áreas antropizadas da caatinga com espécies nativas.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

FIGUEIREDO, P. S. Fenologia e estratégias reprodutivas das espécies arbóreas em uma área marginal de cerrado, na transição para o semi-árido no nordeste do Maranhão, Brasil. **Ciências Agrárias e Biológicas**, v. v.2, p. 8–22, 2008.

FILHO, R. A. P. **Hidrogel associado à bagana de carnaúba no estabelecimento de plantas de tamboril em solo degradado.** Tese (doutorado) Universidade Federal do Ceará, 2016.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga.** Brasília: p. 368, 2010.

GOMES, J. M. **Restauração ecológica de área ciliar degradada da caatinga do Rio São Francisco.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2017.

GONÇALVES, F. L. A. **Efeito do coroamento com papelão na supressão de gramíneas e no crescimento de espécies arbóreas.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Paulo, 1970.

LIMA, K. D. R. **Avaliação de espécies arbóreas e técnicas de plantio para recuperação de áreas degradadas por exploração de piçarra na caatinga.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, RN, 2012.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades.** São Paulo: D & Z Computação Gráfica e Editora, 2004.

MELO, F. P. L.; BASSO, F. A.; SIQUEIRA FILHO, J. A. Restauração ecológica da Caatinga: desafios e oportunidades. In: SIQUEIRA FILHO, J. A. (Ed.). **A flora das caatingas do Rio São Francisco: história natural e conservação.** Rio de Janeiro, 552p. il. cap. 11. p.

396–421, 2012.

PEQUENO, I. D.; ALMEIDA, N. M.; FILHO, J. A. S. Biologia reprodutiva e guilda de visitantes florais de *Pseudobombax marginatum* (Malvaceae). **Rodriguésia**, v. 67(2), p. 395–404, 2016.

PIMENTEL, J. V. F. **Níveis de água, matéria orgânica e cobertura morta na produção de mudas de cumaru - *Amburana cearensis***. Dissertação (Mestrado) - Campina Grande: UFCG, 2008.

PIMENTEL, J. V. F.; GUERRA, H. O. C. Irrigação, matéria orgânica e cobertura morta na produção de mudas de cumaru (*Amburana cearensis*). **Agriambi**, v. Campina Gr, p. 896–902, 2011.

PIMENTEL, J. V. F.; GUERRA, H. O. C. CRESCIMENTO INICIAL DE *Amburana cearensis* (Allem.) A. C. Smith EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 25, n. 3, p. 771–780, 2015.

RAMOS, K. M. O. FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; SOUSA-SILVA, J. C.; FRANCO, A. C. Desenvolvimento inicial e repartição de biomassa de *Amburana cearensis* (Allemao) A.C. Smith, em diferentes condições de sombreamento. **Acta bot. bras.**, v. 18(2), p. 351–358, 2003.

RODAL, M. J. N.; MARTINS, F. R.; SAMPAIO, E. V. de S. Levantamento quantitativo das plantas lenhosas em trechos de vegetação de caatinga em Pernambuco. **Caatinga, Mossoró**, v. 21, n. 3, p. 192–205, 2008.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. **Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**, 2009.

SALES, F. C. V. **Revegetação de área degradada da caatinga por meio da semeadura ou transplântio de mudas de espécies arbóreas em substrato enriquecido com matéria orgânica**. Dissertação (Pós-Graduação em Zootecnia - Sistemas Agrossilvipastoris no Semi-Árido) - Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. do S. B. Desertificação no Nordeste do Brasil. In: **Anais...** Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recife: UFPE/SBCS, 2005.

SILVA, L. M. B. DA; BARBOSA, D. C. DE A. Crescimento e sobrevivência de *Anadenanthera macrocarpa* (benth.) brenan (leguminosae), em uma área de caatinga, Alagoinha, PE. **Acta Botanica Brasilica**, v. 14(3), p. 251–261, 2000.

- SILVA, E. D. R. DA.; SILVA, F. DE. A. A. DA.; MIRAPALHETA, F. Determinação do poder calorífico da jurema preta. In: **Anais...** Natal: Congresso de Engenharia Mecânica do Norte-Nordeste (CEM-NNE/91), Departamento de Engenharia Mecânica/UFRN, p. 72–77, 1991.
- SITA, R. C. M.; REISSMANN, C.B.; MARQUES, C.; OLIVEIRA, E.; TAFFAREL, A.D. Effect of polymers associated with N and K fertilizer sources on *Dendrathera grandiflorum* Growth and K, Ca and Mg relations. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Brasília, v.48, n.3, p. 335–342, 2005.
- SOARES, D. B. **Degradação ambiental no semiárido pernambucano: contribuição ao estudo da desertificação**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco – Recife, 2012.
- SOUTO, J. S. Nucleating technique used for ecological restoration in the semiarid region of Brazil. In: **Anais...** The European Conference on Ecological Restoration September České Budějovice, Czech Republic. p. 93, 2012.
- TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A. de; DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p. 307–311, 2007.
- VIEIRA, H, DOS S. **Recomposição vegetal utilizando a regeneração artificial, com e sem irrigação, em áreas ciliar do alto Sertão Sergipano**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2012.

## 9. ANEXOS

**Anexo 1.** Alturas, taxa de crescimento, área de copa e taxa de sobrevivência das espécies plantadas na área J-118 com (C) e sem (S) aplicação de palha de carnaúba.

Espécie	Meses após o plantio										Taxa de crescimento (cm/mês)		Área de copa (m <sup>2</sup> )		Sobrevivência (%)	
	3	6	12	18	24	3	6	12	18	24	C	S	C	S	C	S
	C	C	C	C	C	S	S	S	S	S	C	S	C	S	C	S
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	49.1	92.4	187.5	230.5	280.0	45.9	76.3	159.7	198.4	302.5	11.0	12.2	10.0	6.7	89	100
<i>Mimosa tenuiflora</i>	58.4	67.2	139.0	144.2	207.8	58.0	66.5	136.6	138.6	205.3	7.12	7.05	10.1	9.3	100	94
<i>Senegalia polyphylla</i>	57.7	65.7	110.0		180.0			37.69	60.13	99.44	5.83	5.17	3.38	0.3	100	89
<i>Parkinsonia aculeata</i>			35.0	67.4	88.6	63.2	61.9	115.8	84.71	145.0	4.89	4.19	0.28	4.4	67	100
<i>Piptadenia stipulacea</i>	76.4	99.8	112.6	131.8	162.9	82.5	95.8	128.7	137.3	185.9	4.14	4.71	4.75	3.7	89	72
<i>Peltophorum dubium</i>	31.8	50.8	79.6	109.8	113.8	33.5	46.6	62.63	102.3	110.6	3.91	3.65	0.46	0.4	100	60
<i>Guilandina bonduc</i>	33.7	52.2	75.6	88.9	98.7	42.7	52.2	74.47	102.2	124.1	3.91	3.89	0.66	1.1	89	100
<i>Enterolobium timbouva</i>	41.0	67.0	94.0	118.0	118.0	42.2	59.5	60.25	75.93	117.8	3.34	3.41	0.04	0.3	100	100
<i>Jatropha curcas</i>	19.7	26.7	58.8	69.4	75.8				11.80	30.06	3.05	3.35	0.11	0.0	100	89
<i>Copernicia prunifera</i>				15.4	32.9	50.2	62.1	69.82	98.22	124.0	3.02	3.87	0.00	0.3	89	89
<i>Libidibia ferrea</i>	41.9	60.2	70.0	80.0	125.5	27.2	35.4	55.22	64.33	71.72	2.52	2.27	0.22	0.3	100	100
<i>Myracrodruon urundeuva</i>				47.9	54.6	37.3	43.1	32.40	48.33	69.33	1.91	2.02	0.21	0.4	100	22
<i>Anadenanthera colubrina</i>	23.3	28.0	42.5	67.7	61.2	21.3	29.1	42.06	50.18	54.94	1.85	1.60	0.17	0.1	89	94
<i>Tabebuia aurea</i>	22.2	23.6	26.7	38.2	57.6	26.6	27.8	30.39	44.72	69.82	1.69	2.05	0.11	0.1	100	100
<i>Cereus jamacaru</i>				22.6	37.7	25.1	33.0	40.00	65.00	70.00	1.65	1.91	0.00	0.1	67	6
<i>Ziziphus joazeiro</i>				17.7	19.0				31.21	35.28	1.45	1.83	0.06	0.1	100	100
<i>Spondias tuberosa</i>	25.3	27.8	38.0	49.9	63.7				40.00	49.78	1.29	1.64	0.22	0.0	33	100
<i>Cenostigma pyramidale</i>	19.4	22.0	29.0	24.6	32.0				24.17	33.00	0.66	1.48	0.04		89	17
<i>Aspidosperma pyriforme</i>	22.6	30.3	27.7	37.6	34.1	26.6	32.0	32.53	40.71	40.10	0.66	0.75	0.05	0.1	89	94
<i>Bauhinia cheilantha</i>	40.4	48.9	40.0	26.0	43.0	23.8	25.2	29.82	32.64	40.00	0.62	1.17	0.03	0.0	67	11
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	22.0	23.6	26.0	24.0	40.0	22.2	26.5	27.00	32.88	35.81	0.43	0.76	0.01	0.1	100	94
<i>Mimosa laticifera</i>	36.1	40.4		31.5		26.8	30.1	30.90	39.20	37.60	0.00	0.66		0.0	0	67
<i>Microdesmia rigida</i>	24.2	36.5	55.0			51.7	57.1	54.29	55.50	52.33	0.00	0.57		0.0	0	83
<i>Amburana cearensis</i>	25.0	32.1	28.0	18.0		29.1	29.7	26.92	33.00	36.00	0.00	0.26		0.0	0	100
<i>Pseudobombax marginatum</i>	26.0	28.8	20.0	20.0	0.0	28.8	30.4	30.25	35.69	33.00	0.00	0.24	0.00	0.0	100	94
<i>Senna spectabilis</i>	23.4	27.6				29.8	32.0	12.75	19.00	25.00	0.00	0.00		0.0	0	6
<i>Anacardium occidentale</i>	22.5					30.2					0.00	0.00			0	0
<i>Hymenaea courbaril</i>	29.6	31.8				45.1	49.2				0.00	0.00			0	0
<i>Erythrina velutina</i>	32.1					36.8	26.5				0.00	0.00			0	0

**Anexo 2.** Alturas, taxa de crescimento, área de copa e taxa de sobrevivência das espécies plantadas na área Central de Resíduos com (C) e sem (S) aplicação de palha de carnaúba.

Espécie	Altura (cm) / Meses após o plantio										Taxa crescimento (cm/mês)		Área de copa (m <sup>2</sup> )		Sobrevivência (%)		
	3	6	12	18	24	3	6	12	18	24	C	S	C	S	C	S	
	C	C	C	C	C	S	S	S	S	S	C	S	C	S	C	S	
<i>Libidibia ferrea</i>	40.6	59.3	125.5	136.5	206.1	42.5	80.1	140.2	157.4	209.5	8.0	7.9	3.1				
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	7	3	7	7	7	0	7	9	1	9	1	7	3	4.33	67	94	
<i>Mimosa tenuiflora</i>	37.5	46.1	119.3	131.2	188.0	41.0	48.3		110.9	188.3	7.1	7.0	3.8				
	6	1	3	2	0	6	5	89.61	4	9	8	3	6	3.99	100	100	
	54.0	59.2	140.8	136.6	185.0	51.9	60.2	131.4	134.0	184.2	6.3	7.0	9.7	12.2			
	0	2	8	3	0	4	9		2	8	3	0	2	5	2	89	72
<i>Ziziphus joazeiro</i>			21.22	28.67	63.78				21.22	28.67	63.78	5.3	4.0	0.3			
	25.4	29.2			137.5	30.3	33.7		111.3	145.4	5.3	5.4	0.4				
<i>Tabebuia aurea</i>	4	2	62.78	97.78	6	9	2	82.94	5	1	5	7	6	0.62	100	94	
	43.7	50.5		124.5	146.5	44.6	72.7	110.7	128.6	144.4	4.7	4.5	2.8				
<i>Guilandina bonduc</i>	8	6	95.86	0	0	5	1	5	3	0	2	1	4	2.66	67	83	
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>			13.67	27.50	54.67			13.43	31.60	66.50	4.5	4.0	0.7				
	24.1	45.6	104.6	106.8	120.0	29.4	44.0			113.4	4.2	3.9	0.7				
<i>Microdesmia rigida</i>	3	0	0	0	0	7	0	74.43	81.71	3	0	1	0	1.14	56	39	
	21.3	25.5			106.3	18.1	23.4				4.1	3.5	0.7				
<i>Jatropha curcas</i>	8	7	78.71	90.38	8	1	4	64.50	71.94	94.13	1	7	2	0.50	89	89	
	73.2	90.3	137.5	133.8	146.8	70.7	79.6	107.4	119.5	133.3	3.5	2.9	3.0				
<i>Piptadenia stipulacea</i>	2	3	6	6	6	2	1	4	0	3	9	5	7	2.25	78	67	
<i>Anadenanthera colubrina</i>	27.5	28.7				30.9	31.7				3.2	1.6	0.4				
	6	8	35.60	55.17	94.43	4	1	28.23	45.22	57.58	9	4	4	0.34	78	67	
<i>Mimosa laticifera</i>	32.6	35.5			113.0	34.4	39.6			113.6	3.2	3.9	0.2				
	7	6	62.00	40.00	0	4	7	58.20	71.75	7	7	6	0	0.28	22	17	
	22.5	25.1				25.7	29.7				3.2	1.1	0.3				
<i>Amburana cearensis</i>	7	4	39.50	80.00	98.00	8	8	39.60	50.33	55.80	0	1	9	0.07	11	28	
	28.1	29.4		100.5		31.4	39.4				3.1	2.4	0.8				
<i>Spondias tuberosa</i>	1	4	71.11	6	93.67	4	7	66.61	74.78	83.50	3	8	0	0.81	100	100	
	29.8	32.8				33.4	35.7				2.9	1.8	2.4				
<i>Senna spectabilis</i>	8	8	34.00	55.50	88.50	4	1	37.43	45.57	62.17	3	5	5	0.81	22	33	
	45.4	50.8			102.8	52.8	59.2			107.0	112.0	2.6	3.0	1.1			
<i>Triplaris gardneriana</i>	4	9	80.43	98.14	6	3	8	92.29	0	6	0	1	4	0.96	78	94	
	43.1	60.0				47.1	71.0			116.1	2.5	3.5	0.7				
<i>Enterolobium timbouva</i>	1	0	94.33	90.40	95.56	7	0	88.23	96.45	7	0	9	4	0.41	100	67	
<i>Cenostigma pyramidale</i>	21.7	23.7				25.1	24.9				2.2	2.0	0.1				
	1	1	31.14	44.86	68.57	7	3	30.50	41.44	64.25	3	6	9	0.13	78	89	
<i>Cereus jamacaru</i>				32.71	40.29					38.50	50.44	1.7	3.8				
<i>Myracrodruon urundeuva</i>				47.67	50.44					46.61	38.72	1.5	0.3	0.4		78	100
	35.6	40.6				50.5	49.7				0.9	0.5	0.8				
<i>Hymenaea courbaril</i>	7	7	35.67	39.83	49.71	9	5	36.53	39.50	46.87	1	8	1	0.28	78	83	
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	19.0	22.4				22.7	27.0				0.8	1.1	0.1				
	0	0	20.00	36.67	48.00	3	0	29.36	43.91	54.27	5	0	1	0.19	33	61	
<i>Copernicia prunifera</i>				31.67	23.11					21.71	23.39	0.4	0.6			100	100
<i>Pseudobombax marginatum</i>	35.3	37.1				33.4	35.6				0.2	0.3	0.0				
<i>Anacardium occidentale</i>	3	1	32.44	38.67	35.22	4	1	37.06	44.06	38.00	8	4	1	0.01	100	94	
	37.6					43.3											
	7					5										0	0
<i>Bauhinia cheilantha</i>	34.2	39.3				44.5	48.6	120.0									
	2	8				0	7	0								0	0
<i>Peltophorum dubium</i>	30.4	35.1				29.8	33.4										
	0	0				3	0									0	0
	42.1					29.2											
<i>Erythrina velutina</i>	1					7										0	0

**Anexo 3.** Alturas, taxa de crescimento, área de copa e taxa de sobrevivência das espécies plantadas na área Base de Poço com (C) e sem (S) aplicação de palha de carnaúba.

Espécie	Altura (cm) / Meses após o plantio										Taxa de crescimento (cm/mês)		Área de copa (m <sup>2</sup> )		Sobrevivência (%)	
	3	6	12	18	24	3	6	12	18	24	C	S	C	S	C	S
	C	C	C	C	C	S	S	S	S	S	C	S	C	S	C	S
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	45.5	58.1	185.7	199.2	227.2	50.2	65.4	143.5	140.7	166.5	8.6	5.5	7.4	5.1	100	100
	6	1	8	2	2	8	7	6	8	0	6	4	3	6		
	48.8	56.0	164.5	139.2	188.3	51.1	56.4	157.8	133.5	188.6	6.6	6.0	7.9	8.3		
<i>Mimosa tenuiflora</i>	9	0	6	2	3	7	4	3	6	7	5	5	1	3	100	100
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>				15.25	44.00				15.45	53.33	6.4	5.2	0.2	0.4	44	50
	84.6	94.5	189.0	197.6	202.0	77.8	88.1	217.7	208.2	240.4	5.7	7.7	4.3	7.2		
<i>Piptadenia stipulacea</i>	7	6	0	0	0	9	7	6	8	7	9	9	2	3	44	94
	30.5	44.8		112.1	143.1	36.9	44.1				5.3		1.0			
<i>Peltophorum dubium</i>	5	0	81.00	7	7	0	3	38.00			8		3		60	0
	25.7	39.0		103.8	126.8	24.8	37.9			128.4	4.7	5.4	0.6	0.5		
<i>Microdesmia rigida</i>	5	0	89.33	3	3	7	0	87.20	95.20	0	8	4	1	9	67	56
	19.3	28.0			107.5	20.5	25.9			119.0	4.2	4.7	0.5	0.3		
<i>Jatropha curcas</i>	3	0	69.67	77.56	6	0	4	83.83	95.78	0	1	0	1	6	100	100
<i>Anadenanthera colubrina</i>	27.6	31.0		138.0	120.0	29.6	33.3		129.0		4.2		1.4			
	7	0	58.50	0	0	1	8	45.31	0		0		9		11	0
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	28.1	30.1			112.5	30.1	33.6				3.9	2.5	0.8	0.3		
	1	1	57.11	77.44	0	8	7	35.35	57.19	78.82	4	1	0	7	89	94
	25.7	26.1			107.7	29.9	32.2				3.9	2.6	0.2	0.3		
<i>Tabebuia aurea</i>	8	1	64.11	78.22	8	4	2	51.83	59.39	81.56	1	3	8	1	100	100
<i>Aspidosperma pyriforme</i>	30.1	32.8				28.7	32.0				2.9	1.4	0.4	0.2		
	1	9	63.38	77.13	92.38	8	6	45.56	53.44	58.89	7	4	6	2	89	100
	43.5	46.2				50.6	50.6			102.9	2.9	2.4	0.5	0.7		
<i>Erythrina velutina</i>	6	2	59.38	67.75	86.88	1	4	57.81	66.57	2	7	1	2	2	89	72
	57.4	57.5			120.1	50.6	61.3			112.7	2.9	3.1	0.3	0.2		
<i>Enterolobium timbouva</i>	4	0	63.00	79.38	3	1	9	65.53	89.42	2	2	6	4	0	89	100
			18.67	18.88	51.56			26.44	26.50	78.56	2.7	4.3	0.1	0.3		
<i>Ziziphus joazeiro</i>											6	7	3	7	100	100
											2.6	2.8				
<i>Cereus jamacaru</i>				20.71	36.57				19.77	37.50	6	5			78	67
	29.1	31.3				31.9	34.4				2.6	1.4	1.1	1.1		
<i>Senna spectabilis</i>	1	3	66.78	67.50	83.75	4	1	55.53	54.53	59.73	1	8	7	1	89	83
											2.4	2.0				
<i>Copernicia prunifera</i>				19.50	24.00				10.33	25.75	3	1			78	89
	42.3	47.4				45.6	51.0				2.2	3.1	0.4	1.0		
<i>Libidibia ferrea</i>	3	4	81.13	61.83	78.00	1	6	92.69	97.59	97.12	4	0	6	1	67	94
			74.50	61.25	58.17			68.78	69.14	55.17	2.0	1.3	0.6	0.5		
<i>Parkinsonia aculeata</i>											5	9	0	5	67	44
	27.4	30.3				30.6	34.3				1.7	1.6	0.1	0.4		
<i>Spondias tuberosa</i>	4	8	43.00	52.88	58.13	1	8	49.63	55.44	63.00	3	4	7	4	89	89
	30.2	32.7				28.2	31.7				1.6	0.8	0.3	0.2		
<i>Amburana cearensis</i>	2	5	36.67	57.67	62.67	8	1	34.25	40.00	44.67	7	5	3	3	33	33
	21.6	25.1				21.2	25.1				1.6	1.2	0.2	0.4		
<i>Cenostigma pyramidale</i>	7	4	25.22	32.60	43.50	2	3	28.47	30.64	44.86	2	2	6	0	22	78
	29.2	33.0				30.9	32.5				1.3	0.7	0.4	0.2		
<i>Hymenaea courbaril</i>	2	0	43.13	42.86	58.43	4	3	38.61	34.19	43.29	0	8	1	4	78	78
	42.2	44.0				40.0	45.4				1.2	1.3	0.0	0.2		
<i>Guilandina bonduc</i>	2	0	28.80	78.71	50.00	6	4	39.67	94.06	67.86	2	8	4	2	67	39
<i>Myracrodruon urundeuva</i>			50.22	46.44	57.33			46.06	45.78	69.94	1.1	2.3	0.4	0.6		
											6	0	7	7	100	100
<i>Pseudobombax marginatum</i>	28.2	32.8				35.8	38.5				0.6	0.4	0.0	0.0		
	2	9	29.00	36.25	35.57	9	3	33.73	42.13	40.31	0	9	0	1	78	72
	29.2	34.1				35.9	41.4	10.67								
<i>Mimosa laticifera</i>	2	1	12.14			4	7								0	0
<i>Anacardium occidentale</i>	39.8					31.5									0	0
	9					2										
<i>Bauhinia cheilantha</i>	35.0	23.2				48.1	33.0								0	0
	0	0				7	0									
	76.6					64.5	69.5									
<i>Senegalia polyphylla</i>	3					8	0								0	0

**Anexo 4.** Alturas, taxa de crescimento, área de copa e taxa de sobrevivência das espécies plantadas na área J-111 com (C) e sem (S) aplicação de palha de carnaúba.

Espécie	Altura (cm) / Meses após o plantio										Taxa de crescimento (cm/mês)		Área de copa (m <sup>2</sup> )		Sobrevivência (%)	
	3	6	12	18	24	3	6	12	18	24	C	S	C	S	C	S
	C	C	C	C	C	S	S	S	S	S	C	S	C	S	C	S
<i>Cereus jamacaru</i>				121.4						108.5	11.0	9.6			100	100
			55.67	4					50.89	6	2	6				
<i>Enterolobium timbouva</i>	49.2	88.1	178.3	258.1	266.8	60.2	83.5	160.5	240.2	244.8	10.3	9.0	3.3	2.5	100	100
	2	1	3	1	9	4	3	6	2	3	8	7	0	9		
<i>Peltophorum dubium</i>	31.0	41.8	118.0	170.8	228.0	35.1	40.0	106.6	147.8	170.6		6.5	0.8	1.0	100	60
	0	0	0	0	0	0	0	7	3	7	9.40	5	7	5		
<i>Tabebuia aurea</i>	31.6	41.6	109.1	173.8	217.4	34.4	41.3	105.0	161.3	199.1		7.8	0.6	0.8	100	100
	7	7	1	9	4	4	9	6	3	1	8.86	5	3	1		
<i>Mimosa schomburgkii</i>				121.2	143.0				121.3	148.1		8.3	3.0	4.1	100	100
			47.44	9	0			48.11	9	7	8.45	8	0	0	89	100
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>				42.25	90.00				33.50	55.47	8.00	0	8	1	44	94
	63.7	67.7	121.1	163.0		65.6	72.6	131.3	150.8			5.6	4.2	5.1		
<i>Piptadenia stipulacea</i>	8	8	1	0		7	7	3	3		6.61	8	7	9	100	100
	42.6	46.3	143.7	172.4	180.6	41.0	45.5	113.0	134.5	201.9		7.6	9.4	8.3		
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	3	8	5	3	3	6	0	6	0	4	6.58	7	8	4	89	100
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	21.2	29.6		106.6	149.7	24.4	26.7		111.6	130.1		5.0	0.8	0.7		
	5	3	77.78	7	8	1	5	71.18	1	7	6.52	7	0	9	100	100
<i>Mimosa tenuiflora</i>	46.8	79.5	129.4	152.6	178.3	43.1	72.0	124.5	123.3	157.3		5.4	9.5	6.5		
	9	6	4	7	3	7	6	6	9	9	6.27	6	5	1	100	100
<i>Anadenanthera colubrina</i>	19.7	24.1		110.8		22.1	25.5					3.7	0.8	0.7		
	8	1	68.56	9		7	3	51.65	78.08		6.07	2	5	2	89	89
<i>Ziziphus joazeiro</i>			31.11	51.44	2			39.17	65.56	2	5.79	2	7	0	100	100
	44.1	80.7	131.2	130.6		47.0	81.9	109.8	137.0			6.0	2.8	1.7		
<i>Mimosa laticifera</i>	1	8	2	7		0	4	0	7		5.77	0	6	9	100	83
	24.4	48.5		139.2	30.8	50.3			126.8			4.8	1.9	2.0		
<i>Microdesmia rigida</i>	4	6	68.89	96.22	2	0	1	57.28	98.67	3	5.47	9	5	4	100	100
	20.1	32.7		110.1	123.8	29.2	36.5	105.5	108.2	130.6		4.8	0.8	1.2		
<i>Jatropha curcas</i>	1	5	94.44	1	9	8	0	0	2	7	4.95	4	8	9	100	100
	48.8	61.0		121.1	130.8	47.7	56.8			114.1		3.1	1.6	1.4		
<i>Guilandina bonduc</i>	9	0	89.38	3	8	2	9	77.28	99.72	8	3.86	8	9	9	89	94
<i>Anacardium occidentale</i>	38.5	38.3		115.4	36.2	38.1		115.3	121.7			4.3	1.0	1.3		
	6	3	52.44	94.78	4	2	3	54.65	1	2	3.67	4	0	8	100	100
<i>Senegalia polyphylla</i>	69.8	58.8		115.5	149.4	57.2	58.6	138.5	132.1	174.8		5.4	4.7	4.0		
	6	0	87.78	0	4	7	7	0	1	8	3.65	8	5	5	100	94
<i>Libidibia ferrea</i>	39.6	45.1		116.0	45.3	54.7		103.9	128.0			3.9	0.3	1.1		
	7	1	63.78	70.88	0	9	2	72.11	4	0	3.61	0	5	0	89	94
<i>Senna spectabilis</i>	34.2	91.5		33.0	62.6							2.6	1.7	0.7		
	2	6	73.00	86.63	90.00	6	5	57.82	72.08	58.00	3.54	5	3	3	89	72
<i>Parkinsonia aculeata</i>			100.6	121.4								7.5	3.3	2.0		
			7	4					90.78	4	3.48	8	4	9	100	100
<i>Copernicia prunifera</i>			30.14	43.67					23.53	39.94	3.18	1	3	2	100	89
	29.7	34.8				37.6	40.1					1.9	0.9	0.8		
<i>Spondias tuberosa</i>	8	9	63.33	65.78	87.00	7	7	72.88	78.88	74.47	2.71	2	1	6	89	83
	40.7	39.3				54.5	48.2					2.0	0.5	0.4		
<i>Bauhinia cheilantha</i>	5	3	61.00	66.25	90.25	3	5	49.71	64.07	70.13	2.69	8	0	6	44	89
	34.0	50.2				32.7	45.9					1.7	1.3	1.0		
<i>Cenostigma pyramidale</i>	0	2	56.78	72.22		2	4	47.56	59.63		2.55	7	2	1	100	89
<i>Aspidosperma pyriforme</i>	26.4	33.0				29.0	34.8					2.0	0.3	0.2		
	4	0	39.89	62.22	72.33	0	2	46.28	62.06	72.06	2.19	8	0	8	100	94
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	30.7	36.6				35.1	39.7					2.4	1.3	2.4		
	8	7	55.22	63.56	76.86	7	8	54.06	65.00	83.43	2.13	1	5	7	78	78
<i>Amburana cearensis</i>	22.0	23.5				31.3	33.6					1.5	0.2	0.5		
	0	0	37.60	51.50	49.50	9	7	38.83	63.63	64.65	1.29	7	6	5	44	94
<i>Pseudobombax marginatum</i>	32.0	33.7				35.0	36.1					0.6	0.0	0.0		
	0	8	46.67	38.33	45.29	0	7	44.22	43.44	47.50	0.68	2	0	0	78	78
<i>Hymenaea courbaril</i>	36.5					39.2										
	6					2									0	0
<i>Erythrina velutina</i>	43.8					45.3										
	3					8									0	0