

AECHMEA BLANCHETIANA (BAKER) L.B.SM. (BROMELIACEAE) COMO
ESPÉCIE FACILITADORA EM ÁREAS DE RESTINGA NO SUDESTE DO
BRASIL

IZABELA FERREIRA RIBEIRO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO
- UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO DE 2023

AECHMEA BLANCHETIANA (BAKER) L.B.SM. (BROMELIACEAE) COMO
ESPÉCIE FACILITADORA EM ÁREAS DE RESTINGA NO SUDESTE DO
BRASIL

IZABELA FERREIRA RIBEIRO

Tese apresentada ao Centro de Biociências
e Biotecnologia da Universidade Estadual do
Norte Fluminense Darcy Ribeiro como parte
das exigências para obtenção do título de
Doutora em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Trindade Nascimento

Coorientador: Prof. Dr. Luis Fernando Tavares de Menezes

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

FEVEREIRO DE 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

R484

Ribeiro, Izabela Ferreira.

AECHMEA BLANCHETIANA (BAKER) L.B.SM. (BROMELIACEAE) COMO ESPÉCIE FACILITADORA EM ÁREAS DE RESTINGA NO SUDESTE DO BRASIL / Izabela Ferreira Ribeiro. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

129 f. : il.

Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, 2023.

Orientador: Marcelo Trindade Nascimento.

1. Bromélia. 2. Mecanismos de facilitação. 3. Recuperação ambiental. 4. Restauração ambiental. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 577

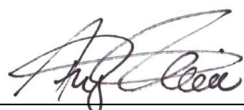
**AECHMEA BLANCHETIANA (BAKER) L.B.SM. (BROMELIACEAE) COMO
ESPÉCIE FACILITADORA EM ÁREAS DE RESTINGA NO SUDESTE DO
BRASIL**

IZABELA FERREIRA RIBEIRO

Tese apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2023

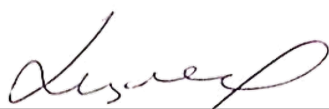
Comissão examinadora:



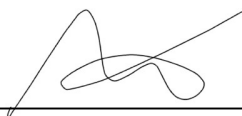
Prof.ª Angela Pierre Vitória (Doutora em Biologia Vegetal) – UENF



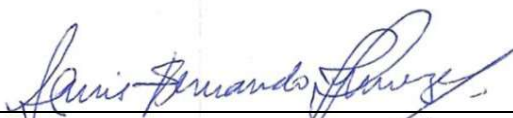
Prof. Oberdan José Pereira (Doutor em Biologia Vegetal) - UFES



Prof. Luiz Roberto Zamith Coelho Leal (Doutor em Ecologia) - UFF



Prof. Marcelo Trindade Nascimento (Doutor em Ecologia) - UENF Orientador



Prof. Luis Fernando Tavares de Menezes (Doutor em Ecologia) - UFES Coorientador



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

DECLARAÇÃO

Eu, Marina Satika Suzuki, coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPG-ERN) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), seguindo a Resolução CPPG nº2 de 2021, declaro validadas as assinaturas constantes da Folha de Assinaturas da Dissertação intitulada “*Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B.SM. (Bromeliaceae) como espécie facilitadora em áreas de restinga no Sudeste do Brasil” de autoria de Izabela Ferreira Ribeiro, defendida no dia 28 de fevereiro de 2023.

Campos dos Goytacazes, 24 de maio de 2023

Marina Satika Suzuki
Coordenadora PPG-ERN / UENF
ID. Funcional 641333-1



Documento assinado eletronicamente por **Marina Satika Suzuki, Coordenadora**, em 24/05/2023, às 09:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento nos art. 21º e 22º do [Decreto nº 46.730, de 9 de agosto de 2019](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.fazenda.rj.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=6, informando o código verificador **52606322** e o código CRC **9845E080**.

Referência: Processo nº SEI-260009/002124/2021

SEI nº 52606322

Avenida Alberto Lamego, 2000, - Bairro Pq. Califórnia, Campos dos Goytacazes/RJ, CEP 28013-602
Telefone: - www.uenf.br

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus familiares, amigos
e professores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço às instituições de fomento à pesquisa brasileira pela concessão das bolsas que proporcionaram o pleno desenvolvimento do meu doutorado: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e a Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro.

Expresso minha gratidão à empresa Petrobras pela parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo e pelo financiamento do projeto de desenvolvimento de tecnologias para a revegetação de áreas degradadas pela exploração de ecossistemas de petróleo e gás natural do norte do estado do Espírito Santo.

Aos membros da comissão examinadora, agradeço por prontamente aceitarem o convite e por todas as contribuições.

Quero expressar minha gratidão aos meus mestres e orientadores Marcelo Trindade e Luis Fernando por sua orientação e suporte ao longo desse trabalho.

À minha família e amigos. Em especial aos meus pais e ao Vitor.

Agradeço ao Laboratório de Ciências Ambientais, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais e ao corpo docente da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro pela estrutura e pelos conhecimentos compartilhados.

Ao Diego, um irmão que este doutorado me deu. Aos meus colegas Mari, Bianca e Igor que me acolheram desde o primeiro dia em Campos. E à equipe Urubu formada na disciplina de ecologia de campo (Patricia, Eduardo e Vitor).

Ao Laboratório de Ecologia e Restinga da Mata Atlântica (CEUNES) e a todos os colegas que não mediram esforços para a realização deste trabalho.

Aos meus companheiros incansáveis de campo (Stiviny, Aparicio, Thalia e Marcel) e a vários outros colegas que me acompanharam nesta jornada, onde saíamos às 04:00 da manhã e retornávamos após as 20:00. Sou imensamente grata a todos vocês.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
Capítulo I	x
Capítulo II	x
LISTA DE FIGURAS	xi
Capítulo I	xi
Capítulo II	xi
Capítulo III	xii
RESUMO.....	xviii
ABSTRACT	xx
ESTRUTURA DA TESE	xxii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. CAPÍTULO I – Facilitação entre plantas e o uso de espécies facilitadoras como estratégia de restauração ecológica.....	4
Introdução.....	5
Material e Métodos	7
Resultados.....	8
Estudos sobre mecanismos de facilitação – avanços na última década.....	8
Estudos de Facilitação no Brasil	11
A facilitação como estratégia para a restauração ecológica	13
Considerações Finais	18
Referências.....	18
3. CAPÍTULO II – <i>Aechmea blanchetiana</i> (Baker) L.B.Sm (Bromeliaceae) uma planta facilitadora no ecossistema restinga	29
Resumo	29

Introdução.....	30
Material e Métodos	32
Área de Trabalho	32
Coleta de dados.....	33
Análise de dados.....	34
Resultados.....	36
Discussão	44
Referências.....	47
Resumo	52
Introdução.....	53
Material e Métodos	55
Área de estudo.....	55
Espécies-alvo.....	56
Metodologia do Plantio.....	58
Amostragem.....	59
Análises estatísticas.....	63
Resultados.....	64
<i>Dalbergia ecastophyllum</i>	64
<i>Inga laurina</i>	71
<i>Schinus terebinthifolia</i>	79
Discussão	87
Conclusão.....	91
Referências.....	92
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
REFERÊNCIAS.....	103

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1. Avanços na pesquisa de restauração e facilitação nos últimos três anos com exemplos de artigos, incluindo seus autores, títulos e resumos com os principais resultados.

Capítulo II

Tabela 1. Lista florística de uma vegetação arbustiva aberta de restinga, caracterizada por moitas na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), situado no município de Conceição da Barra/ES.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1 – Desenvolvimento de *Clusia hilariana* Schldl. no tanque da bromélia *Aechmea blanchetiana* (Baker) LB Sm.: (A-B) Germinação de sementes no tanque da *A. blanchetiana*; (C) Crescimento no tanque da *A. blanchetiana*.

Capítulo II

Figura 1 – Indivíduos de *Aechmea blanchetiana* no ecossistema restinga.

Figura 2 – Curvas de rarefação das espécies em moitas com e sem *Aechmea blanchetiana*, baseadas no número de indivíduos, em uma vegetação arbustiva aberta de restinga, caracterizada por moitas, na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), situada no município de Conceição da Barra/ES.

Figura 3 – Densidade relativa de espécies em moitas com e sem *Aechmea blanchetiana* na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), localizado no município de Conceição da Barra/ES.

Figura 4 – Frequência relativa das espécies em moitas com e sem *Aechmea blanchetiana* na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), localizada no município de Conceição da Barra/ES.

Figura 5 – Regressão linear das espécies coletadas em uma área arbustiva de restinga, caracterizada por moitas, na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), localizada no município de Conceição da Barra/ES.

Figura 6 – Regressões lineares das espécies coletadas em moitas com e sem *Aechmea blanchetiana* na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), situado no município de Conceição da Barra/ES. A – Regressão linear de espécies coletadas em moitas com *A. blanchetiana*; B – Regressão linear de espécies coletadas em moitas sem *A. blanchetiana*.

Figura 7 – Espécies germinando e crescendo na roseta da bromélia *Aechmea blanchetiana*. A – *Agarista revoluta* (Spreng) J.D. Hook. Ex Nied; B – *Schinus terebinthifolia* Raddi; C – *Clusia hilariana* Schldt; D – *Eugenia astringens* Cambess; E – Indeterminada 1; F – Indeterminada 2. As setas indicam as espécies em desenvolvimento.

Capítulo III

Figura 1 – Plantio de espécies arbustivas com e sem *Aechmea blanchetiana* em uma área de mineração de areia em São Mateus/ES. A – Visão panorâmica do plantio. B – Metodologia utilizada para o plantio das mudas. C – Plantio com espécies arbustivas no tratamento com *A. blanchetiana*. D – Plantio de espécies arbustivas no tratamento sem *A. blanchetiana*.

Figura 2 – Espécies-alvo utilizadas no plantio. A – Bromélia *Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B.Sm; B – Espécie *Dalbergia ecastophyllum* (L.) Taub.; C – Espécie *laurina* (Sw.) Willd; D – Espécie *Schinus terebinthifolia* Rad.

Figura 3 – Modelo do plantio de nucleação de Anderson. A – Modelo utilizado no tratamento com *Aechmea blanchetiana*. B – Modelo utilizado no tratamento sem *A. blanchetiana*.

Figura 4 – Análises fisiológicas dos atributos foliares utilizando o equipamento fluorômetro portátil *Handy-PEA*, Hanstech, King's Lynn, Norfolk, UK). A – Equipamento fluorômetro portátil *Handy-PEA*; B – Medição realizada em campo; C – Clipes foliares utilizados para aclimatar ao escuro as folhas dos indivíduos plantados.

Figura 5 – Sobrevivência dos indivíduos de *Dalbergia ecastophyllum* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em cinco avaliações (06 meses após o plantio, 10 meses após o plantio, 16 meses após o plantio, 22 meses após o plantio e 28 meses após o plantio).

Figura 6 – Parâmetros morfológicas de *Dalbergia ecastophyllum* com e sem *Aechmea blanchetiana* em cinco avaliações. A – Parâmetro Altura; B – Parâmetro Área basal. Os

números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, sendo NS. indicando que os tratamentos não diferiram entre si estatisticamente.

Figura 7 – Relação do peso da massa seca total (biomassa em gramas) dos indivíduos de *Dalbergia ecastophyllum* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em três avaliações (0 – aos seis meses de plantio, 1 – aos 16 meses de plantio e 2 – aos 28 meses de plantio). Os asteriscos acima dos *boxplots* indicam diferença estatística entre os tratamentos com e sem *A. blanchetiana* no mês avaliado.

Figura 8 – Variação de atributos foliares de *Dalbergia ecastophyllum* em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A - Espessura foliar (ESP - mm²); B - Área foliar específica (AFE - cm²/g); C - Esclerofilia foliar (ESCL - g/m³); D - Massa foliar específica (AFE - g/cm²); E - Suculência foliar (SUC - g/m²); F - Conteúdo relativo de água (CRA - %). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, enquanto o NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

Figura 9 – Variação das análises fisiológicas de *Dalbergia ecastophyllum* em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A – $\phi P0$ (rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária); B – $\phi D0$ (rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor); C – RC/CS₀ (centros de reação redutores de QA ativos por seção transversal no FSII); D – PI/abs (índice de

desempenho para conservação de energia desde éxcitons capturados até a redução dos aceptores de elétrons do inter-sistema). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*, SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença entre os tratamentos, enquanto NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

Figura 10 – Análises fisiológicas *OJIP* em cinco avaliações (05:00h, 08:00h, 12:00h, 15:00h e 18:00h) em indivíduos da espécie *Dalbergia ecastophyllum* plantados com *Aechmea blanchetiana* (CB) e sem *A. blanchetiana* (SB). A- Análise da banda K ($\Delta V_{oj} = [V_j (CB) - V_j (SB)]$). B- Análise da banda L ($\Delta V_{ok} = [V_{ok} (CB) - V_{ok} (SB)]$).

Figura 11 – Sobrevivência dos indivíduos de *Inga laurina* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em cinco avaliações (06 meses após o plantio, 10 meses após o plantio, 16 meses após o plantio, 22 meses após o plantio e 28 meses após o plantio).

Figura 12 – Parâmetros morfológicas de *Inga laurina*, com e sem *Aechmea blanchetiana* em cinco avaliações. A – Parâmetro Altura; B – Parâmetro Área basal. Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, sendo NS. indicando que os tratamentos não diferiram entre si estatisticamente.

Figura 13 – Relação do peso da massa seca total (biomassa em gramas) dos indivíduos de *Inga laurina* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em três

avaliações (0 – aos seis meses de plantio, 1 – aos 16 meses de plantio e 2 – aos 28 meses de plantio). Os asteriscos acima dos *boxplots* indicam diferença estatística entre os tratamentos com e sem *A. blanchetiana* no mês avaliado.

Figura 14 – Variação de atributos foliares de *Inga laurina* em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A - Espessura foliar (ESP - mm²); B - Área foliar específica (AFE - cm²/g); C - Esclerofilia foliar (ESCL - g/m³); D - Massa foliar específica (AFE - g/cm²); E - Suculência foliar (SUC - g/m²); F - Conteúdo relativo de água (CRA - %). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, enquanto o NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

Figura 15 – Variação das análises fisiológicas de *Inga laurina* em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A – $\phi P0$ (rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária); B – $\phi D0$ (rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor); C – RC/CS₀ (centros de reação redutores de QA ativos por seção transversal no FSII); D – PI/abs (índice de desempenho para conservação de energia desde éxcitons capturados até a redução dos aceptores de elétrons do inter-sistema). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*, SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença entre os tratamentos, enquanto NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

Figura 16 – Análises fisiológicas *OJIP* em cinco avaliações (05:00h, 08:00h, 12:00h, 15:00h e 18:00h) em indivíduos da espécie *Inga laurina* plantados com *Aechmea blanchetiana* (CB) e sem *A. blanchetiana* (SB). A- Análise da banda K ($\Delta V_{oj} = [V_j (CB) - V_j (SB)]$). B- Análise da banda L ($\Delta V_{ok} = [V_{ok} (CB) - V_{ok} (SB)]$).

Figura 17 – Sobrevivência dos indivíduos de *Schinus terebinthifolia* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em cinco avaliações (06 meses após o plantio, 10 meses após o plantio, 16 meses após o plantio, 22 meses após o plantio e 28 meses após o plantio).

Figura 18 – Análises morfológicas de *Schinus terebinthifolia* com e sem *Aechmea blanchetiana* em cinco avaliações. A – Parâmetro Altura; B – Parâmetro Área basal. Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, sendo NS. indicando que os tratamentos não diferiram entre si estatisticamente.

Figura 19 – Relação do peso da massa seca total (biomassa em gramas) dos indivíduos de *Schinus terebinthifolia* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em três avaliações (0 – aos seis meses de plantio, 1 – aos 16 meses de plantio e 2 – aos 28 meses de plantio). Os asteriscos acima dos *boxplots* indicam diferença estatística entre os tratamentos com e sem *A. blanchetiana* no mês avaliado.

Figura 20 – Variação de atributos foliares de *Schinus terebinthifolia* em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A - Espessura foliar (ESP - mm²); B - Área foliar específica (AFE - cm²/g); C - Esclerofilia foliar (ESCL - g/m³); D - Massa foliar específica (AFE - g/cm²); E - Suculência foliar (SUC - g/m²); F - Conteúdo relativo de água (CRA - %). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o

plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, enquanto o NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

Figura 21 – Variação das análises fisiológicas em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A – $\phi P0$ (rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária); B – $\phi D0$ (rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor); C – RC/CSO (centros de reação redutores de QA ativos por seção transversal no FSII); D – PI/abs (índice de desempenho para conservação de energia desde éxcitons capturados até a redução dos aceptores de elétrons do inter-sistema). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*, SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença entre os tratamentos, enquanto NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

Figura 22 – Análises fisiológicas *OJIP* cinco avaliações (05:00h, 08:00h, 12:00h, 15:00h e 18:00h) em indivíduos da espécie *Schinus terebinthifolia* plantados com *Aechmea blanchetiana* (CB) e sem *A. blanchetiana* (SB). A- Análise da banda K ($\Delta V_{oj} = [V_j (CB) - V_j (SB)]$). B- Análise da banda L ($\Delta V_{ok} = [V_{ok} (CB) - V_{ok} (SB)]$).

Figura 23 – Representação gráfica dos parâmetros ambientais temperatura do ar (Temp °C), umidade relativa do ar (HR %) e intensidade luminosa em um plantio com e sem *Aechmea blanchetiana*. A – Parâmetro ambiental temperatura do ar (Temp °C); B – Parâmetro ambiental intensidade luminosa; C – Parâmetro ambiental umidade relativa do ar (HR %).

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o propósito de entender os possíveis mecanismos de facilitação da espécie *Aechmea blanchetiana* em áreas de restinga. O primeiro capítulo consiste em uma revisão sobre o tema facilitação e o histórico do uso de espécies facilitadoras em projetos de restauração ecológica no Brasil e no mundo. O segundo capítulo avaliou se a presença da *A. blanchetiana* influencia a composição de uma comunidade. O estudo foi realizado através de um levantamento florístico em moitas com e sem *A. blanchetiana*, em uma área de restinga de formação arbustiva, testando as seguintes hipóteses: (1) A presença da *A. blanchetiana* e a área da moita interferem positivamente na riqueza e abundância de espécies arbustivas/arbóreas; (2) *A. blanchetiana* facilita a germinação e crescimento de espécies arbustivas/arbóreas. Os resultados indicaram que a presença da *A. blanchetiana* aumentou a riqueza e abundância da comunidade, porém não mostrou relação com a área da moita, onde, independentemente da avaliação, a riqueza aumentou com o aumento da área. Além disso, o teste de associação revelou uma interação positiva entre a bromélia e a *Clusia hilariana*, sendo que seis espécies encontradas germinando na roseta da bromélia. Os dados sugerem que *A. blanchetiana* influencia positivamente a comunidade, sendo considerada uma espécie facilitadora em uma área de restinga arbustiva aberta não inundável. O terceiro capítulo teve como objetivo testar experimentalmente, por meio de avaliações de sobrevivência, morfológicas (e.g altura, diâmetro, biomassa), atributos funcionais (e.g. foliares e fisiológicos) o efeito da *A. blanchetiana* como possível facilitadora para as espécies arbustivas *Schinus terebinthifolia*, *Dalbergia ecastophyllum* e *Inga laurina* em um plantio em uma área de duna artificial de areia no sudeste brasileiro. Foram consideradas as seguintes hipóteses: (1) *Aechmea blanchetiana* influencia positivamente na sobrevivência das espécies arbustivas; (2) *Aechmea blanchetiana* influencia positivamente no crescimento das espécies arbustivas; (3) *Aechmea blanchetiana* influencia positivamente nos atributos funcionais das espécies arbustivas; (4) *Aechmea blanchetiana* ameniza as condições ambientais do meio. Os resultados demonstraram que a presença da *A. blanchetiana* não teve um efeito positivo na mortalidade das três espécies, porém os dados morfológicos e fisiológicos indicam

que *A. blanchetiana* promoveu um aumento no crescimento das espécies avaliadas, principalmente para *D. ecastophyllum* e *I. laurina* com um incremento na biomassa ao final do experimento. Os resultados encontrados neste estudo têm implicações diretas para projetos de restauração ambiental em áreas de restinga, onde *A. blanchetiana* atua como facilitadora, criando ambientes propícios para germinação de espécies, influenciando positivamente o crescimento das espécies arbustivas plantadas e amenizando os parâmetros ambientais em um ecossistema com condições ambientais severas, como as restingas.

Palavras-chave: bromélia; mecanismos de facilitação; recuperação ambiental; restauração ambiental.

ABSTRACT

This work was developed with the purpose of understanding the possible mechanisms of facilitation of the species *Aechmea blanchetiana* in restinga areas. The first chapter brings a review on the topic of facilitation and the history of the use of facilitating species in the ecological restoration project, both in the world and in Brazil. The second chapter aimed to evaluate whether *A. blanchetiana* in the composition of a community. The study was carried out based on a floristic survey of bushes with and without *A. blanchetiana*, in a restinga area with shrub/tree formation, testing the following hypotheses: (1) The presence of *A. blanchetiana* and the area of the bush positively interfere with the richness and abundance of shrub/tree species; (2) *A. blanchetiana* facilitates the germination and growth of shrub/tree species. The results indicated that the presence of *A. blanchetiana* increases the richness and abundance of the environment but does not related to the area of the thicket, where, regardless of the evaluation, the richness increased with the increase in the area. The association test already indicated a positive interaction between the bromeliad and the *Clusia hilariana* being one of the six species tested germinating in the rosette of the bromeliad. The data indicate that *A. blanchetiana* positively influences the community, being considered a facilitator species in an area of open, non-flooding shrubland. The third chapter aimed to test experimentally, based on survival and morphological estimates (e.g. height, diameter, biomass), functional attributes (e.g. foliar and physiological), the effect of *A. blanchetiana* as a possible facilitator for the species *Schinus terebinthifolius*, *Dalbergia ecastophyllum* and *Inga laurina* in a plantation in an area of artificial sand dunes in southeastern Brazil, considering the following hypotheses: (1) the presence of the bromeliad *A. blanchetiana* positively influences the survival of shrub species; (2) *Aechmea blanchetiana* positively influences the functional attributes of shrub species; (3) *A. blanchetiana* softens the environmental conditions of the environment. As a result, it was observed that the presence of *A. blanchetiana* did not interfere positively in the mortality of the three species, but the morphological and physiological data indicate that *A. blanchetiana* interfered positively in the growth of species, mainly for *D. ecastophyllum* and *I. laurina* with biomass increment at the end of the experiment. In

view of the chapters presented, the results found in this study have direct implications for environmental restoration projects in restinga areas, where *A. blanchetiana* acts as a facilitator, forming favorable environments for germination and development of species, assists in community dynamics and softening environmental parameters in an ecosystem with severe environmental conditions, such as restingas.

Keywords: bromeliad; facilitation mechanisms; environmental recovery; environmental restoration.

ESTRUTURA DA TESE

Está teste foi escrita no formato de capítulos, sendo composta de:

1. Uma introdução geral, onde é abordada o tema facilitação e o uso destas estratégias em projetos de restauração
2. O primeiro capítulo intitulado: Facilitação entre plantas e o uso de espécies facilitadoras como estratégia de restauração ecológica
3. O segundo capítulo intitulado: *Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B.Sm. (Bromeliaceae) uma planta facilitadora no ecossistema restinga
4. O terceiro capítulo intitulado: Influência de *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Sm. (Bromeliaceae) no crescimento de espécies arbustivas em uma área de restauração de Restinga
5. As considerações finais
6. As referências bibliográficas

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os mecanismos de facilitação entre planta-planta decorrem dos efeitos positivos gerados por um indivíduo facilitador, podendo ocorrer tanto de forma direta quanto indireta (Bertness & Callaway, 1994; Brooker *et al.*, 2008). Quando de forma direta, uma espécie facilitadora pode amenizar condições ambientais, através da proteção mecânica contra o vento (Baumeister & Callaway, 2006), redução da temperatura e da radiação solar, sombreamento do dossel e aumento da umidade do solo (Lucas *et al.*, 2021), além de fornecer nutrientes (Callaway, 1995; Pugnaire *et al.*, 1996; Callaway, 2007; Navarro-Cano *et al.*, 2015; Abiyu *et al.*, 2017; Abd-ElGawad *et al.*, 2020) e reduzir a salinidade (Teutli-Hernandez *et al.*, 2019). Já de forma indireta, os benefícios da facilitação são mediados por outros organismos, como o aumento das chances de polinização (Losapio *et al.*, 2021) e dispersão, ou pela redução do parasitismo e predação (Thomson, 1978).

Nos últimos anos, os estudos sobre os mecanismos de facilitação tem se ampliado, proporcionando maior entendimento sobre a dinâmica de comunidades (Valiente-Banuet & Verdú, 2013; McIntire & Fajardo, 2014; Wright *et al.*, 2017; Liancourt & Dolezal, 2021), a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema (Wright *et al.*, 2017), bem como a alteração na diversidade funcional (Losapio *et al.*, 2021) e filogenética (Valiente-Banuet & Verdú, 2013; Vega-Álvarez *et al.*, 2019; Duarte *et al.*, 2021).

Áreas com condições climáticas extremas são ambientes privilegiados para o estudo da facilitação, onde é observada uma relação positiva entre o aumento dos processos de facilitação e a intensidade da severidade ambiental. No entanto, esses mecanismos também podem ocorrer em áreas com condições amenas, destacando-se os benefícios indiretos gerados por um indivíduo facilitador (Brooker *et al.*, 2008). É importante ressaltar que a maioria dos estudos realizados nos últimos anos não foram desenvolvidos em regiões tropicais, como no Brasil, e que vários desses estudos fazem parte de uma literatura não publicada, como trabalhos de conclusão de cursos (e.g.

graduação e pós-graduação) e relatórios técnicos, o que gera lacunas no conhecimento dos processos aqui avaliados.

Mesmo com lapsos de informações, devido a dados não publicadas, os artigos apresentados neste estudo indicam que o uso de espécies facilitadoras em projetos de restauração ambiental vem sendo considerado uma técnica eficaz (Gómez-Ruiz *et al.*, 2013; Alday *et al.*, 2016; Badano *et al.*, 2016; Lyu *et al.*, 2016; Al-Namazi *et al.*, 2017; Filazzola *et al.*, 2018; Vega-Álvarez *et al.*, 2018; O'Brien *et al.*, 2019; Peláez *et al.*, 2019).

Os projetos de restauração ecológica têm como objetivo auxiliar a recuperação de um ecossistema degradado, danificado ou destruído, promovendo a formação de condições necessárias para o restabelecimento do ambiente ao longo do tempo, com intervenções mínimas a longo prazo (Brancalion *et al.*, 2015; SER, 2019). Esses modelos começaram a ser aplicados em práticas de reflorestamento a partir do século XX (Temperton *et al.*, 2004; Brancalion *et al.*, 2015; SER, 2019), avaliando a degradação de cada local, as características do meio e a capacidade de regeneração para definir estratégias de recuperação ambiental (Temperton *et al.*, 2004; Moraes *et al.*, 2010). A implementação de projetos de restauração pode ser realizada em ambientes com vegetação, utilizando técnicas de manejo e controle de competidores que favorece e acelera a sucessão ecológica, ou em áreas sem vegetação, onde é necessário iniciar o processo de colonização, empregando diferentes técnicas como a introdução de espécies vegetais. Em ambientes com baixa capacidade de resiliência, como o ecossistema restinga (Thomazi *et al.*, 2013), essas intervenções se tornam mais complexas, exigindo a aplicação e o teste de diferentes metodologias para o sucesso da colonização e sucessão ecológica (Brancalion *et al.*, 2015).

As restingas são ambientes oligotróficos, caracterizados por solos arenosos, lixiviados e pobres em nutrientes, sendo considerados ambientes com baixa capacidade de resiliência (Menezes *et al.*, 2010). A intensidade luminosa, a grande incidência de ventos e escassez de água influenciam diretamente a vegetação deste habitat, levando à colonização e uma regeneração lenta, quando ocorrem (Dillenburg *et al.*, 1992). Apesar da baixa resiliência, a recuperação deste ambiente pode ser

realizada com o uso de diferentes técnicas, incluindo interações bióticas, como interações de facilitação. A introdução desses indivíduos é considerada uma estratégia que traz benefícios para o melhor desenvolvimento dos plantios (Badano *et al.*, 2016; Peláez *et al.*, 2019), podendo limitar o crescimento de espécies exóticas (Perea *et al.*, 2019), melhorar o ambiente e torná-lo mais favorável para a colonização e desenvolvimento de outras espécies (Martinez, 2013; Galindo *et al.*, 2017), aumentando assim a fauna local (Thomson, 1978; Losapio *et al.*, 2021) e permitindo a transferência de nutrientes abaixo do solo (Garcia-Moya & McKell, 1970; Chiariello *et al.*, 1982), facilitando o processo de restauração das características e funções originais do ambiente (Bruno *et al.*, 2003; Temperton *et al.*, 2004; SER, 2019).

Espécies como da família Bromeliaceae têm se destacam nos estudos de mecanismos de facilitação, sendo que bromélias-tanque desempenham um papel importante na estruturação e no funcionamento das diferentes comunidades da Mata Atlântica, incluindo o ecossistema restinga (Scarano, 2002). O acúmulo de água dentro das rosetas, o sombreamento (Beduschi & Castellani, 2008) e aumento dos nutrientes no solo (Hay *et al.*, 1981) induzem a formação de microsítios que podem permitir tanto a germinação quanto o crescimento de espécies (Tsuda & Castellani, 2016).

O objetivo desta tese é investigar o papel da bromélia *A. blanchetiana* como espécie facilitadora, tanto no ambiente natural como em plantios, avaliando seu papel na restauração de ambientes degradados de restinga.

2. CAPÍTULO I – Facilitação entre plantas e o uso de espécies facilitadoras como estratégia de restauração ecológica

Resumo

Ecossistemas sujeitos a fatores abióticos extremos são locais privilegiados para estudos de interações positivas entre plantas, como a facilitação, que resulta em benefícios envolvidos, por meio de modificações bióticas e abióticas. Diante do crescente número de artigos sobre facilitação nas últimas décadas e da indicação de espécies facilitadoras em projetos de recuperação e restauração ecológica, este estudo apresenta uma revisão da literatura sobre facilitação entre planta-planta no período de 2011 e 2020. Foram analisados 103 estudos que abordam o tema facilitação, e o texto foi dividido em uma introdução e três seções: i) Estudos sobre o Mecanismo de Facilitação — Avanços na última década; ii) Estudos de facilitação no Brasil; e, iii) Facilitação na Restauração. A revisão indica que uma compreensão aprofundada dos mecanismos de facilitação e suas aplicações requer a integração de conhecimentos em diferentes níveis, incluindo informações sobre as espécies, organização ecológica, filogenética e condições ambientais. Essa abordagem possibilita uma melhor compreensão da dinâmica das comunidades e destaca o uso de espécies facilitadoras em projetos de restauração, especialmente em regiões com condições severas ou mais vulneráveis às mudanças climáticas, como uma estratégia importante para a restauração ecológica.

Palavras-chave: ambientes extremos; ambientes tropicais; mecanismo de facilitação; restauração ambiental; interações positivas.

Introdução

As interações positivas entre plantas, como os mecanismos de facilitação, proporcionam benefícios para uma ou ambas as espécies associadas em uma escala de tempo (Bertness & Callaway, 1994; Bruno *et al.*, 2003; Brooker *et al.*, 2008). Essas interações podem ser resultadas de modificações ambientais, que favorecem o desenvolvimento das espécies (Callaway, 1995; Navarro-Cano *et al.*, 2015; Abiyu *et al.*, 2017; Abd-ElGawad *et al.*, 2020; Lucas *et al.*, 2021), bem como ações de outros organismos, como o aumento da polinização (Losapio *et al.*, 2021), dispersão, redução do parasitismo, predação e competição entre os beneficiários (Thomson, 1978). A presença de uma espécie facilitadora possibilita a colonização de ambientes com baixa regeneração, e em condições ambientais mais severas os processos de facilitação são intensificados, resultado em modificando na dinâmica e na estrutura da comunidade, através da formação de microambientes (Pugnaire *et al.*, 1996; Pugnaire *et al.*, 2011; Valiente-Banuet & Verdú, 2013; McIntire & Fajardo, 2014; Cavieres *et al.*, 2016; Molina-Montenegro *et al.*, 2016; Liancourt & Dolezal, 2021).

Na década de setenta, Connell e Slatyer contribuíram para o conhecimento das interações positivas, ao apresentaram um conjunto de dados sobre a dinâmica da comunidade, levantando questões sobre os processos de mudanças da dinâmica e sucessão ecológica. Esses autores propuseram três modelos de sucessão: tolerância, inibição e facilitação, explicando como as comunidades são formadas e modificadas ao longo do tempo (Connell & Slatyer, 1977). A partir desses conceitos, outros trabalhos que citavam e definiam interações positivas em determinadas comunidades começaram a ganhar maior visibilidade no meio científico.

Um exemplo desses estudos é o trabalho de Niering *et al.* (1963) realizado em um ambiente desértico no Arizona. Eles observaram que espécies de diferentes arbustos, principalmente indivíduos de “palo verde” abrigavam juvenis de saguaros (cactos gigantes) sob sua cobertura, desempenhando um papel crucial na sobrevivência e desenvolvimento dos cactos. Nesse estudo, o termo “*nurse plant*” (plantas facilitadoras) foi utilizado pela primeira vez na literatura, para descrever as espécies perenes que forneciam abrigo aos cactos sob sua cobertura. Pesquisas subsequentes realizadas no

mesmo ambiente confirmam a importância da sombra dos arbustos para a sobrevivência dos cactos e reforçam o termo “*nurse plant*” para os arbustos de “palo verde” devido à sua capacidade de promover o crescimento dos cactos (Hastings & Turner, 1965; Turner *et al.*, 1966; 1969; Steenbergh & Lowe, 1969).

Embora existam trabalhos anteriores há década de 1990 que indicam a importância das interações positivas para a sucessão ecológica, foi somente a partir das revisões de Bertness & Callaway (1994) e Callaway (1995), que esses mecanismos ganharam destaque e foram integrados em modelos gerais de dinâmica e organização da comunidade. O estudo de Bertness & Callaway (1994) proporcionou esclarecimentos como as interações positivas afetam o recrutamento, a distribuição espacial das espécies, reduzindo o estresse físico e a pressão do consumidor, e controlando assim o processo de sucessão ecológica. Os autores formularam a hipótese do gradiente de estresse (SGH), na qual afirmam que as ações das espécies facilitadoras são intensificadas à medida que o nível de estresse aumenta. Já a revisão de Callaway (1995) foi um marco no estudo de facilitação. Nessa revisão, foi apresentada uma tabela que copilou diversos estudos realizados desde os primeiros anos de 1900, ampliando o conhecimento sobre o significado dos mecanismos de facilitação e seu papel nas comunidades. Essas revisões contribuíram para consolidar o entendimento e a relevância das interações positivas na ecologia e proporcionaram uma base sólida para estudos posteriores nessa área.

Após a década de 2000, foram publicados diversos trabalhos que abordam a temática da facilitação entre plantas, conforme mencionado por Brooker *et al.* (2008). Além disso, o uso de espécies facilitadoras em projetos de restauração ecológica ganhou maior visibilidade.

A restauração ecológica tem como objetivo restabelecer condições necessárias para a recuperação do ambiente ao longo do tempo, promovendo fluxos bióticos e abióticos na paisagem e reduzindo a dependência de intervenções humanas de longo prazo (Temperton *et al.*, 2004; SER, 2019). Esse processo começou a ser considerado em projetos a partir do século XX (Temperton *et al.*, 2004; Brancalion *et al.*, 2015; SER, 2019), e ao longo dos anos foram desenvolvidas e testadas diferentes estratégias e

técnicas (Brancaion *et al.*, 2015; SER, 2019). O uso de espécies facilitadoras é uma das abordagens utilizadas nesse contexto (He *et al.*, 2013; Gómez-Ruiz *et al.*, 2013; Silliman *et al.*, 2015; Soliveres *et al.*, 2015; Alday *et al.*, 2016; Fedriani *et al.*, 2019).

Diante da importância de compreender melhor as interações das espécies facilitadoras com a dinâmica das comunidades, bem como os locais onde esses processos ocorrem e a ampliação dessas espécies em projetos recentes de restauração ambiental, realizamos uma revisão da literatura abrangendo o período de 2011 a 2020. O objetivo dessa revisão é contribuir para o avanço do conhecimento nessa área e fornecer subsídios para futuros projetos de restauração ambiental.

Material e Métodos

A pesquisa das publicações foi conduzida no mês de dezembro de 2020 e abrangeu quatro bases bibliográficas: *Web of Science*, *Scielo*, *ScienceDirect*, *Scopus*, além de uma base de dados pessoal. Para cada seção do estudo, foram realizadas buscas utilizando diferentes palavras em inglês, presentes no título e/ou nas palavras-chave e/ou nos resumos dos artigos publicados entre 2011 e 2020. Também foram incluídos trabalhos anteriores a 2011 para enriquecer o conteúdo do texto.

Na primeira seção, intitulada “Estudos sobre mecanismos de facilitação – avanços na última década”, foram utilizadas as palavras-chave: “*facilitation mechanism*” (mecanismos de facilitação); “*vegetation*” (vegetação); ou “*plant*” (planta).

Na segunda seção, “Estudos de facilitação no Brasil”, foram utilizadas as palavras-chave “*facilitation*” (facilitação), “*Brazil*” (Brasil); “*vegetation*” (vegetação); ou “*plant*” (planta).

Na seção final, “Facilitação como estratégia de restauração ecológica”, foram utilizadas as palavras-chave “*facilitation*” (facilitação); “*restoration*” (restauração); ou “*restored*” (restaurado); e “*vegetation*” (vegetação); ou “*plant*” (planta).

Resultados

Após a realização das pesquisas nos bancos de dados entre 2011 e 2020, foram selecionadas 84 publicações relevantes para este estudo. Após a triagem e exclusão de artigos repetidos, foi observado um baixo número de documentos que abordam os temas propostos nos últimos anos.

No tópico “Estudos sobre mecanismos de facilitação - avanços na última década”, foram incluídos 29 artigos para compor essa seção. No tópico “Estudos de facilitação no Brasil”, foram utilizados 14 artigos. E no tópico “Facilitação como estratégia para restauração ecológica”, foram utilizados 43.

Esses números refletem a disponibilidade limitada de estudos recentes sobre a facilitação entre plantas e sua aplicação na restauração ecológica, ressaltando a importância de mais pesquisas e investigações nessa área.

Estudos sobre mecanismos de facilitação – avanços na última década

Nas últimas décadas estudos sobre o mecanismo de facilitação entre plantas têm demonstrado que essas interações positivas podem beneficiar a biodiversidade das comunidades. Essas interações ajudam a mitigar estresses abióticos, formando micro-habitats e gerando heterogeneidade no ambiente, especialmente em locais sob condições ambientais extremas (Pugnaire *et al.*, 2011; Valiente-Banuet & Verdú, 2013; Cavieres *et al.*, 2014; McIntire & Fajardo, 2014; Cavieres *et al.*, 2016; Liancourt & Dolezal, 2021). Além disso, os efeitos positivos da facilitação também podem ocorrer em ambientes com condições amenas (Francisco *et al.*, 2018).

Os estudos sobre os mecanismos de facilitação entre plantas foram divididos em revisões bibliográficas e avaliações em campo. As revisões bibliográficas permitem uma compreensão mais abrangente da dinâmica de uma determinada área ou comunidade, como visto no trabalho de Pugnaire *et al.* (2011). Os autores reuniram 15 anos de estudos realizados em áreas desérticas do sudeste da Espanha, explanando o tema das interações positivas e a relação destas com a comunidade.

As avaliações em campo são realizadas por levantamentos florísticos, nos quais a presença ou ausência de facilitadores é verificada em relação à abundância e riqueza de espécies (Van Zonneveld *et al.*, 2012; Badano *et al.*, 2016; Lyu *et al.*, 2016; Al-Namazi *et al.*, 2017; Filazzola *et al.*, 2018; Vega-Álvarez *et al.*, 2018; O'Brien *et al.*, 2019; Peláez *et al.*, 2019). Além disso, experimentos de plantios são conduzidos para avaliar os mecanismos de facilitação, utilizando sementes (Liancourt & Tielböger, 2011; Quon *et al.*, 2019) ou mudas incluindo de espécies facilitadoras e/ou facilitadas (Avendaño-Yáñez *et al.*, 2014; Van Zonneveld *et al.*, 2012; Badano *et al.*, 2016). Deve ser considerado que quando os estudos citados acima são quantificados, destaca-se a predominância de estudos observacionais. Essa preferência dificulta a identificação dos processos de facilitação e de espécies facilitadoras, devido às atividades de campo, serem consideradas metodologias mais eficazes para identificar os mecanismos de facilitação, devido à capacidade de avaliar e testar (Castanho *et al.*, 2015a; Chaieb *et al.*, 2021).

A avaliação dos efeitos da facilitação vai além do benefício para outros indivíduos, fornecendo informações sobre a dinâmica da comunidade (Valiente-Banuet & Verdú, 2013; McIntire & Fajardo, 2014; Wright *et al.*, 2017; Liancourt & Dolezal, 2021) e as alterações na diversidade funcional (Losapio *et al.*, 2021) e filogenética Valiente-Banuet & Verdú, 2013; Vega-Álvarez *et al.*, 2019; Duarte *et al.*, 2021).

Losapio *et al.* (2021) mencionam que as plantas facilitadoras aumentam a diversidade filogenética e funcional dos visitantes florais, indicando que os mecanismos de facilitação entre as plantas podem apoiar o funcionamento do ecossistema, tanto diretamente (melhoria do micro-habitat) quanto indiretamente (efeitos da diversidade). Para a diversidade filogenética de plantas, Valiente-Banuet & Verdú (2013) citam que quando as espécies possuem linhagens com diferentes histórias evolutivas, devido ao ambiente ótimo, ocorre uma redução no processo de competição e um aumento na facilitação, o que pode levar a manutenção da diversidade filogenética (Valiente-Banuet & Verdú, 2013). Dados citados por Duarte *et al.* (2021), onde os autores descrevem uma relação positiva entre espécies facilitadoras e o aumento da diversidade filogenética.

Os cientistas também procuram entender onde e como os processos de facilitação ocorrem com maior intensidade. A abordagem conhecida como Hipótese do Gradiente de estresse (SGH), proposta por Bertness & Callaway (1994), é frequentemente utilizada para avaliar os mecanismos de facilitação (Kikvidze *et al.*, 2011; Cavieres *et al.*, 2014; Michalet *et al.*, 2014; Castanho *et al.*, 2015b; Lyu *et al.*, 2016; Al-Namazi *et al.*, 2017; O'Brien *et al.*, 2019). Em ambientes com condições climáticas severas, diferentes autores concluem que os mecanismos de facilitação e competição variam com as mudanças climáticas, onde ambientes com condições ambientais extremas estão relacionados positivamente aos mecanismos de facilitação (Kikvidze *et al.*, 2011; Cavieres *et al.*, 2014; Al-Namazi *et al.*, 2017; O'Brien *et al.*, 2019). A presença de um indivíduo facilitador nestes ambientes apresenta um efeito importante na manutenção da diversidade da comunidade, onde espécies facilitadoras podem alterar filtros climáticos, permitindo o estabelecimento e recrutamento de espécies, aumentando a diversidade e contribuindo para a distribuição destas ao longo desses gradientes. Entretanto, Michalet *et al.* (2014) alertam que a avaliação da composição de espécies relacionada ao processo de facilitação e testado pela abordagem SGH pode se tornar complexa. Estes autores citam que em determinado limiar de mudanças climáticas processos como o colapso da facilitação, a mudança da facilitação para a competição e mecanismos nulos de interações podem ocorrer. O colapso da facilitação pode ocorrer devido ao efeito decrescente da facilitação de espécies, enquanto a mudança da facilitação para a competição pode ser impulsionada pelas condições ambientais e pelas estratégias de resposta das espécies, conforme corroborado por Liu *et al.* (2020). Já os mecanismos nulos de interações podem ocorrer em situações de estresse extremo onde as mudanças ambientais podem anular processos tanto de facilitação quanto de competição.

No contexto das mudanças climáticas, O'Brien *et al.* (2019) citam que em alguns casos as espécies facilitadoras permitem uma maior sobrevivência dos indivíduos frente ao aumento das temperaturas, oferecendo abrigo e condições mais favoráveis para o desenvolvimento de outras espécies. Isso sugere que o uso de espécies facilitadoras pode criar refúgios para espécies que não seriam capazes de resistir às mudanças climáticas por conta própria.

Estudos de Facilitação no Brasil

A facilitação é um tema que tem ganhado destaque nos estudos brasileiros, principalmente nos últimos anos. Diversos trabalhos têm sido realizados em diferentes ambientes, desde condições climáticas severas até áreas florestais com algum grau de interferência.

A maioria dos estudos foi conduzida em ambientes com condições adversas, como restingas (Beduschi & Castellani, 2013; Carvalho *et al.*, 2014; Castanho & Prado, 2014; Castanho *et al.*, 2015b; Tsuda & Castellani, 2016; Dalotto *et al.*, 2018), caatinga (Vieira *et al.*, 2013; Paterno *et al.*, 2016), áreas de transição para formação de cerrado (Arantes *et al.*, 2014; Passos *et al.*, 2014) e afloramentos rochosos (Rocha *et al.*, 2015). No entanto, também foram realizados em ambientes florestais degradados, como áreas de construções de estradas (Perea *et al.*, 2019) e áreas desmatadas ou convertidas para pastagens e culturas agrícolas (Lameira *et al.*, 2019).

Os estudos têm se concentrado em espécies específicas que atuam como facilitadoras, como bromélias-tanque, cactos e clúsias. Essas espécies, que apresentam mecanismos de fotossíntese CAM, têm sido identificadas como promotoras de interações positivas (Zaluar & Scarano 2000) e desempenham um papel importante na estruturação e funcionamento das comunidades (Scarano 2002).

Por exemplo, Rocha *et al.* (2015) e Tsuda & Castellani (2016), onde os autores avaliaram o potencial de diferentes bromélias por meio do levantamento da riqueza e abundância de espécies. Essas pesquisas buscaram entender como as bromélias atuam como facilitadoras, ou seja, como elas promovem interações positivas e beneficiam outras espécies em seu entorno.

Por outro lado Beduschi & Castellani (2013) se concentraram em uma espécie específica do gênero *Clusia*. Eles testaram a hipótese de que essa espécie pode agir como facilitadora, fornecendo condições favoráveis para a sobrevivência de outros indivíduos em situações de estresse abiótico, testando a SGH.

Além das bromélias e clúsias, os estudos também envolvem palmeiras, arbustos e árvores, como a palmeira *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze. Essa espécie tem sido

considerada uma facilitadora em ecossistemas restinga, devido à sua capacidade de reduzir as condições ambientais extremas e auxiliar no estabelecimento de outras espécies (Menezes & Araújo, 1999; Zaluar & Scarano, 2000). Essas constatações foram confirmadas no estudo de Carvalho *et al.* (2014), no qual os pesquisadores avaliaram a biomassa e os nutrientes da palmeira em uma área de restinga no Rio de Janeiro, concluindo que ela apresenta características de uma planta facilitadora, melhorando o ambiente e permitindo o estabelecimento de espécies vegetais e animais.

As avaliações do processo de facilitação em indivíduos arbustivos ou arbóreos foram realizadas em diferentes escalas. Em alguns casos, a comunidade foi avaliada com base em diversos parâmetros, abrangendo todas as espécies facilitadoras e facilitadas (Marcilio-Silva *et al.*, 2015), enquanto em outros, foram feitas avaliações de pares (Arantes *et al.*, 2014).

Para entender os mecanismos de facilitação e seu impacto na comunidade, diferentes técnicas têm sido aplicadas. Levantamentos florísticos, avaliando a riqueza e abundância, foram realizados em áreas com a presença de possíveis facilitadores, comparando-as com áreas adjacentes desprovidas desses indivíduos (Arantes *et al.*, 2014; Dalotto *et al.*, 2018; Lameira *et al.*, 2019; Perea *et al.*, 2019). Estes dados foram analisados levando em consideração diversos aspectos, como o tamanho da copa das espécies-alvos (Vieira *et al.*, 2013; Arantes *et al.*, 2014; Dalotto *et al.*, 2018), altura dos indivíduos (Dalotto *et al.*, 2018), área basal (Lameira *et al.*, 2019), fases da vida (Castanho *et al.*, 2015b) e a identidade e idade de um indivíduo facilitador (Paterno *et al.*, 2016). Além disso, os dados também foram avaliados considerando gradientes ambientais (e.g. praia-interior), testando a SGH (Castanho & Prado, 2014; Dalotto *et al.*, 2018).

Os estudos mencionados que investigaram as interações positivas entre possíveis espécies facilitadoras e facilitadas relatam a ocorrência de processos de facilitação, nos quais um indivíduo foi capaz de promover a sobrevivência ou o crescimento de uma ou mais espécies, tanto em ambientes naturais (Beduschi & Castellani, 2013; Vieira *et al.*, 2013; Arantes *et al.*, 2014; Castanho & Prado, 2014; Carvalho *et al.*, 2014; Castanho *et al.*, 2015b; Rocha *et al.*, 2015; Paterno *et al.*, 2016; Tsuda & Castellani, 2016; Dalotto *et*

al., 2018; Lameira *et al.*, 2019), quanto em ambientes modificados, com potencial para aumentar a riqueza de espécies nativas e limitar o crescimento de espécies exóticas (Perea *et al.*, 2019).

Por fim, é importante ressaltar que a facilitação não ocorre de forma uniforme para todas as espécies. No mesmo ambiente e com as mesmas condições ambientais, uma planta pode facilitar uma espécie e outra não (Lameira *et al.*, 2019). O processo de facilitação pode ocorrer apenas para um determinado grupo de espécies (Rocha *et al.*, 2015), em uma fase de vida de um indivíduo (Castanho & Prado, 2014; Paterno *et al.*, 2016) ou em um estrato vegetal (Tsuda & Castellani, 2016).

A facilitação como estratégia para a restauração ecológica

Com a crescente modificação dos ambientes naturais ao redor do mundo, motivada principalmente pela ação humana, a criação e desenvolvimento de técnicas para a recuperação e restauração de áreas degradadas tornam-se essenciais (Burke *et al.*, 2011).

O uso de interações bióticas, como espécies facilitadoras (e.g. interações positivas entre espécies vegetais), vem sendo testada e considerada uma estratégia eficaz (He *et al.*, 2013; Gómez-Ruiz *et al.*, 2013; Silliman *et al.*, 2015; Soliveres *et al.*, 2015; Alday *et al.*, 2016; Fedriani *et al.*, 2019).

A presença de uma espécie facilitadora pode reduzir o estresse fisiológico das plantas, ao amenizar condições ambientais extremas (Bannister *et al.*, 2020; Lucas *et al.*, 2021). Além disso, as espécies podem tornar o solo mais nutritivo (Passos *et al.*, 2014; Navarro-Cano *et al.*, 2015; Abiyu *et al.*, 2017; Abd-ElGawad *et al.*, 2020), inibir o crescimento da cobertura de espécies exóticas (Martinez & Dornbush, 2013; Galindo *et al.*, 2017), aumentar a fauna local, incluindo dispersores e polinizadores (Losapio *et al.*, 2021), promover a formação de bancos de sementes abaixo da copa (Erfanzadeh *et al.*, 2020; Foronda *et al.*, 2020), permitir a germinação (Figura 1: A-B) (Fedriani *et al.*, 2019), e favorecer a sobrevivência e crescimento de espécies vegetais (Figura 1: C) (Urretavizcaya & Defosse, 2013; Encino-Ruiz *et al.*, 2013; Dominguez *et al.*, 2015;

Torroba-Balmori *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2017; Raath-Kruger *et al.*, 2021). Dessa forma, em projetos de restauração ambiental, a presença de espécies facilitadoras permite a redução de custos, ao modificar positivamente a comunidade e tornar o meio mais favorável para o desenvolvimento de outros indivíduos, sem a necessidade de grandes intervenções humanas (He *et al.*, 2013; Gómez-Ruiz *et al.*, 2013; Silliman *et al.*, 2015; Soliveres *et al.*, 2015; Alday *et al.*, 2016; Fedriani *et al.*, 2019).

As interações bióticas são mais frequentemente utilizadas em projetos de restauração em ambientes com condições extremas e menor capacidade de regeneração, principalmente devido a fatores abióticos (Mendoza-Hernández *et al.*, 2013; Castanho *et al.*, 2015b, SER, 2019; Weidlich *et al.*, 2021). No entanto, a inclusão de interações bióticas em projetos de restauração em condições ambientais amenas, como áreas de mata atlântica e mata ciliar, também deve ser considerada. Quando as áreas florestais sofrem interferências, como desmatamento, ocorrem mudanças ambientais que geram um desequilíbrio no ecossistema, tornando o uso de interações positivas uma técnica apropriada (Anthelme *et al.*, 2014; Avendaño-Yáñez *et al.*, 2014). No entanto, deve-se considerar que, em determinadas áreas áridas e sob condições severas de seca, com alto estresse hídrico, os efeitos positivos podem ser suprimidos pela competição (Jankju, 2013; Noumi *et al.*, 2015), ou simplesmente falharão, indicando que esta ferramenta pode ser limitada pelo clima (Michalet *et al.*, 2014; Gonzalez & Ghermandi, 2019).

A avaliação da identidade funcional (Navarro-Cano *et al.*, 2019), taxonômica e filogenética das espécies facilitadoras e facilitadas é importante para potencializar o uso dessa técnica e tem se mostrado relevante nos resultados de experimentos de restauração que envolvem interações bióticas (Verdú *et al.*, 2011; Navarro-Cano *et al.*, 2016). Observa-se que quanto maior a distância filogenética entre as espécies, maior a probabilidade de apresentar diferentes fenótipos, com diferentes exigências ecológicas, maximizando o efeito de facilitação e reduzindo a competição (Verdú *et al.*, 2011; Verdú *et al.*, 2012). O mesmo ocorre com a distância funcional, onde maior distinção morfológica e fisiológica entre as espécies facilitadoras e facilitadas resulta em maior sucesso do estabelecimento das facilitadas (Navarro-Cano *et al.*, 2019). No entanto,

deve-se considerar que espécies facilitadoras não necessariamente abrem caminho para beneficiar todas as espécies (Lortie, 2017), sendo também relevante o preparo do solo, a escolha das espécies e a seleção de mudas para a recuperação eficiente do ambiente (Dias *et al.*, 2014).

Por fim, deve-se considerar que embora existam vários estudos que mencionam o uso de espécies facilitadoras como alternativas na restauração ecológica, poucos deles, principalmente nos últimos anos, realizaram experimentos em campo comprovando a eficiência do uso dessas espécies em projetos de restauração (Tabela 1).

Tabela 1 - Avanços na pesquisa de restauração e facilitação nos últimos três anos com exemplos de artigos, incluindo seus autores, títulos e resumos com os principais resultados.

Autor(s)	Título	Resumo
Bannister <i>et al.</i> 2020	Shrub influences on seedling performance when restoring the slow-growing conifer <i>Pilgerodendron uviferum</i> in southern bog forests	Em um experimento para avaliar a recuperação de <i>Pilgerodendron uviferum</i> (D. Don) Florin. em florestas pantanosas no Chile, os pesquisadores investigaram o impacto da presença e ausência de arbustos no desenvolvimento da espécie ao longo do tempo. Os resultados indicaram que a presença dos arbustos teve efeitos significativos nos indivíduos de <i>P. uviferum</i> , com a redução do estresse fisiológico (medido como Fv/Fm), além de maior incremento de altura e maior vitalidade.
Foronda <i>et al.</i> 2020	Substrate-specialist plants for restoring vegetation in post-mining gypsum substrates	<i>Gypsophila struthium</i> Loefl. Foi avaliada como uma espécie facilitadora no crescimento e germinação de outras espécies em um depósito de entulho na Espanha. A presença dessa espécie foi identificada como pioneira na área, contribuindo para o aumento da diversidade local. Além disso,

Fedriani et al. 2019	Combined effects of seed provenance, plant facilitation and restoration site on revegetation success	observou-se um efeito positivo na germinação de sementes, no crescimento dos indivíduos e na melhoria do solo. <i>G. struthium</i> também proporcionou a formação de microambientes favoráveis sob seu dossel.
Gonzalez & Ghermandi 2019	Dwarf shrub facilitates seedling recruitment and plant diversity in semiarid grasslands	Este estudo investigou o efeito facilitador de três espécies de arbustos no crescimento de <i>Pyrus bourgaeana</i> Decne. em uma área de restauração na Espanha. Os resultados indicaram que o impacto positivo dos arbustos variou dependendo do local de sementeira e da proveniência das sementes.
Martelletti et al. 2018	Microsite manipulation in lowland oak forest restoration results in indirect effects on acorn predation	A presença da <i>Acaena splendens</i> influenciou positivamente na riqueza, emergência de plântulas e sobrevivência de <i>Festuca pallescens</i> (St.-Yves) Parodi na região noroeste da Patagônia. No entanto, as mudas não sobreviveram durante o verão em ambos os microsítios, sugerindo que a eficácia de <i>A. splendens</i> como espécie facilitadora pode ser limitada em condições de seca.
		O estudo examinou o papel de <i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link. na facilitação da emergência e predação de sementes. Não foram encontradas evidências de facilitação direta na emergência das sementes, mas observou-se um efeito indireto negativo na predação das sementes causados pela presença de <i>C. scoparius</i> .



Figura 1 - Desenvolvimento de *Clusia hilariana* Schldl. no tanque da bromélia *Aechmea blanchetiana* (Baker) LB Sm.: (A-B) Germinação de sementes no tanque da *A. blanchetiana*; (C) Crescimento no tanque da *A. blanchetiana*.

Considerações Finais

Nesta revisão, destaca-se a importância de compreender o ambiente e as condições climáticas para uma melhor compreensão dos processos de facilitação e das respostas das espécies facilitadas. Os estudos analisados demonstram o papel positivo das plantas facilitadoras na dinâmica das comunidades, tanto em termos ecológicos quanto filogenéticos, além de destacar a eficiência do uso de espécies facilitadoras em projetos restauração de áreas degradadas. No entanto, é importante mencionar que a maioria dos estudos foi de natureza observacional, e poucos foram realizados em regiões tropicais, além de existir lacunas no conhecimento devido à falta de dados publicados, gerando uma literatura cinza, como teses, dissertações e relatórios técnicos. Essas lacunas apresentam oportunidades para pesquisas futuras nessa área.

Referências

Abd El-Gawad, A. M.; Rashad, Y. M.; Abdel, A. A. M.; Barati, S. A.; Assaeed, A. M. and Mowafy, A. M. 2020 *Calligonum polygonoides* L. Shrubs Provide Species-Specific Facilitation for the Understory Plants in Coastal Ecosystem. *Biology.*, 9: 232.

Abiyu, A., Teketay, D., Glatzel, G., Aerts, R., Gratzer, G. (2017). Restoration of degraded ecosystems in the Afromontane highlands of Ethiopia: comparison of plantations and natural regeneration. *Southern Forests.*, 27: 103-108.

Alday, J.G., Zaldivar, P., Torroba-Balmori, P., Fernandez-Santos, B., Martinez-Ruiz, C. (2016). Natural forest expansion on reclaimed coal mines in Northern Spain: the role of native shrubs as suitable microsites. *Environmental Science and Pollution Research.*, 23: 13606-13616.

Al-Namazi, A.A., El-Bana, M.I., Bonser, S.P. (2017). Competition and facilitation structure plant communities under nurse tree canopies in extremely stressful environments. *Ecology Evolution.*, 7: 2747–2755.

Anthelme, F., Gomez-Aparicio, L., Montufar, R. (2014). Nurse-based restoration of degraded tropical forests with tussock grasses: experimental support from the Andean cloud forest. *Journal of Applied Ecology.*, 6: 1534-1543.

- Arantes, C.S., Vale, V.S., Oliveira, A.P., Júnior, J.A.P., Lopes, S.F., Schiavini, I. (2014). Forest species colonizing cerrado open areas: distance and area effects on the nucleation process. *Brazilian Journal of Botany.*, 37: 143–150.
- Avendaño-Yáñez, M.L., Sánchez-Velásquez, L.R., Meave, J.A., Pineda-López, M.R. (2014). Is facilitation a promising strategy for cloud forest restoration?. *Forest Ecology and Management.*, 329: 328-333.
- Badano, E.I., Samour-Nieva, O.R., Flores, J., Flores-Flores, J.L., Flores-Cano, J.A., Rodas-Ortíz, J.P. (2016). Facilitation by nurse plants contributes to vegetation recovery in human-disturbed desert ecosystems. *Journal of Plant Ecology.*, 9: 485-497.
- Bannister, J.R., Travieso, G., Galindo, N., Acevedo, M., Puettmann, K., Salas-Eljatib, C. (2020). Shrub influences on seedling performance when restoring the slow-growing conifer *Pilgerodendron uviferum* in southern bog forests. *Restoration Ecology.*, 28: 396-407.
- Beduschi, T. Castellani, T.T. (2013). Friends or Foes? Interplay of facilitation and competition depends on the interaction between abiotic stress and ontogenetic stage. *Plant Ecology.*, 214: 1487-1492.
- Bertness, M. Callaway, R.M. (1994). Positive interactions in communities. *Trends in Ecology Evolution.*, 9: 191-193.
- Brançalion, P.H.S., Viani, R.A.G., Rodrigues, R.R., Gandolfi, S. (2015). Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: Martins, S.V. Eds. Restauração ecológica de ecossistemas degradados. Viçosa. Editora UFV. p. 262-291.
- Brooker, R.W., Maestre, F.T., Callaway, R.M., *et al.* (2008). Facilitation In Plant Communities: The Past. The Present. And The Future. *Journal Ecology.*, 96: 18-34.
- Bruno, J.F., Stachowicz, J.J., Bertness, M.D. (2003). Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in Ecology & Evolution.*, 18: 119-125.
- Burke, L.M., Reytar, K., Spalding, M., Perry, A. (2011). Reefs at Risk Revisited. *World Resources Institute.*, 130p.

- Callaway, R.M. (1995). Positive interactions among plants. *The Botanical Review.*, 61: 306–349.
- Callaway, R.M. (2007). Positive interactions and interdependence in plant communities. Dordrecht. Springer. 416p.
- Carvalho, D.C., Pereira, M.G., Menezes, L.F.T. (2014). Aporte De Biomassa e Nutrientes por *Allagoptera arenaria* na Restinga da Marambaia. Rio De Janeiro-RJ. *Floresta.*, 44: 349-358.
- Castanho, C.D. Prado, P.I. (2014). Benefit of Shading by Nurse Plant Does Not Change along a Stress Gradient in a Coastal Dune. *PLoS One* 9: e105082. doi: 10.1371/journal.pone.0105082
- Castanho, C.T., Lortie, C.J., Zaitchil, B., Prado, P.I. (2015a). A meta-analysis of plant facilitation in coastal dune systems: responses. regions. and research gaps. *PeerJ* 3: e768.
- Castanho, C.T., Oliveira, A.A., Prado, P.I.K.L. (2015b). Does extreme environmental severity promote plant facilitation? An experimental field test in a sub-tropical coastal dune. *Oecologia.*, 178: 855–866.
- Cavieres, L., Brooker, R.W., Butterfield, B. *et al.* (2014). Facilitative plant interactions and climate simultaneously drive Alpine. *Ecology Letter.*, 17: 193-202.
- Cavieres, L.A., Hernández-Fuentes, C., Sierra-Almeida, A., Kikvidze, Z., (2016). Facilitation among plants as an insurance policy for diversity in Alpine communities. *Functional Ecology.*, 30: 52-59.
- Chaieb, G., Wang, X.T., Abdelly, C., Michalet, R. (2021). Shift from short-term competition to facilitation with drought stress is due to a decrease in long-term facilitation. *Oikos.*, 130: 29-40.
- Connell, J.H., Slatyer, R.O. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist.*, 111: 1119–1144.

- Dalotto, C.E.S., Sühs, R.B., Dechoum, M.S., Pugnaire, F.I., Peroni, N., Castellani, T.T. (2018). Facilitation influences patterns of perennial species abundance and richness in a subtropical dune system. *AoB Plants* 10: ply017.
- Dias, A.T.C., Bozelli, R.L.B., Zamith, L.R., Esteves, F.A., Ferreira, P., Scarano, F.R. (2014). Limited relevance of studying colonization in degraded areas for selecting framework species for ecosystem restoration. *Natureza & Conservação.*, 12: 134-137.
- Dominguez, M.T., Perez-Ramos, I.M., Murillo, J.M., Maranon T. (2015). Facilitating the afforestation of Mediterranean polluted soils by nurse shrubs. *Journal of Environmental Management.*, 161: 276-286.
- Duarte, M., Verdú, M., Cavieres, L.A., Bustamante, R.O. (2021). Plant-plant facilitation increases with reduced phylogenetic relatedness along an elevation gradient. *Oikos.*, 130: 248-259.
- Encino-Ruiz, L., Lindig-Cisneros, R., Gomez-Romero, M., Blanco-Garcia, A. (2013). Performance of three tree species from tropical dry forest in an ecological restoration trial. *Botanical Sciences.*, 91: 107-114.
- Erfanzadeh, R., Palaye, A.S.A., Ghelichnia, H. (2020). Shrub effects on germinable soil seed bank in overgrazed rangelands. *Plant Ecology & Diversity.*, 13: 199-208.
- Fedriani, J.M., Calvo, G., Delibes, M., Ayllón, D., Garrote, P.J. (2020). The overlooked benefits of synzoochory: rodents rescue seeds from aborted fruits. *Ecosphere* 11: e03298. doi: 10.1002/ecs2.3298
- Filazzola, A., Liczner, A.R., Westphal, M., Lortie, C.J. (2018). The effect of consumer pressure and abiotic stress on positive plant interactions are mediated by extreme climatic events. *New Phytologist.*, 217: 140–150.
- Foronda, A., Pueyo, Y., Reiné, R., Arroyo, A.I., Giner, M.L., Alados, C.L. (2020). The role of shrubs in spatially structuring the soil seed bank of perennial species in a semi-arid gypsum plant Community. *Plant Ecology.*, 221: 913-923.

- Francisco, T.M., Garbin, M.L., Castanho, C.T., Ruiz-Miranda, C.R. (2018). An overview on epiphytism as a direct mechanism of facilitation in tropical forests. *Tropical Ecology* 59: 1–9.
- Galindo, V., Calle, Z., Chara, J., Armbrecht, I. (2017). Facilitation by pioneer shrubs for the ecological restoration of riparian forests in the Central Andes of Colombia. *Restoration Ecology*, 25: 731-737.
- Gómez-Ruiz, P.A., Lindig-Cisneros, R., Vargas-Ríos, O. (2013). Facilitation among plants: A strategy for the ecological restoration of the high-andean forest (Bogotá, DC—Colombia). *Ecological Engineering*., 57: 267-275.
- Gonzalez, S.F. Ghermandi, L. (2019). Dwarf shrub facilitates seedling recruitment and plant diversity in semiarid grasslands. PLOS ONE 14: e0212058. doi: 10.1371/journal.pone.0212058
- Hastings, J.R. Turner, R.M. (1965). *The Changing Mile: An ecological study of vegetation change with time in the lower mile of an arid and semiarid region.* Tucson. University Arizona Press. 317p.
- He, Q., Bertness, M.D., Altieri, A.H. (2013). Global shifts towards positive species interactions with increasing environmental stress. *Ecology Letters*., 16: 695-706.
- Jankju, M. (2013). Role of nurse shrubs in restoration of an arid rangeland: Effects of microclimate on grass establishment. *Journal of Arid Environments*., 89: 103-109.
- Kikvidze, Z., Michalet, R., Brooker, R.W., *et al.* (2011). Climatic drivers of plant–plant interactions and diversity in alpine communities. *Alpine Botany*., 121: 63-70.
- Lameira, L.L., Ferreira, F.C.G., Filardi, R.A.E., Queiroz, J.M., Sansevero, J.B.B. (2019). Plant-canopy Effects on Natural Regeneration in Sites Under Restoration: Do Tree Species Matter?. *Floresta e Ambiente* 26: e20180398. doi: 10.1590/2179-8087.039818
- Liancourt, P. Dolezal, J. (2021). Community-scale effects and strain: Facilitation beyond conspicuous patterns. *Journal Ecology*., 109: 19-25.

- Liancourt, P. Tielbörger, K. (2011). Ecotypic differentiation determines the outcome of positive interactions in a dryland annual plant species. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics.*, 13: 259-264.
- Liu, M., Wang, Y., Sun, J. *et al.* (2020). Shift in nurse effect from facilitation to competition with increasing size of *Salix cupularis* canopy in a desertified alpine meadow on the Tibetan Plateau. *Catena.* 195: 104757 doi: 10.1016/j.catena.2020.104757
- Lortie, C.J. (2017). Fix-it Felix: advances in testing plant facilitation as a restoration tool. *Applied Vegetation Science.*, 20: 315-316.
- Losapio, G., Schmid, B., Bascompte, J. *et al.* (2021). An experimental approach to assessing the impact of ecosystem engineers on biodiversity and ecosystem functions. *Ecology.*, 102: e03243. doi: 10.1002/ecy.3243
- Lucas, D.S., Oliveira, D.M.P., Carvalho, E.C.D., Soares, A.A., Zandavali, R.B. (2021). Evidence of facilitation between early-successional tree species and the regenerating plant community in a tropical seasonally dry environment. *Austral Ecology.*, 47: 541-556.
- Lyu, L., Zhang, Q., Deng, Z., Makinen, H. (2016). Fine-scale distribution of treeline trees and the nurse plant facilitation on the eastern Tibetan Plateau. *Ecological Indicators.*, 66: 251-258.
- Marcilio-Silva, V., Cavalin, P.O., Varassin, I.G. *et al.* (2015). Nurse abundance determines plant facilitation networks of subtropical forest-grassland ecotone. *Austral Ecology.*, 40: 898–908.
- Martelletti, S., Lingua, E., Meloni, F. *et al.* (2018). Microsite manipulation in lowland oak forest restoration results in indirect effects on acorn predation. *Forest Ecology and Management.*, 411: 27-34.
- Martinez, J.A. Dornbush, M.E. (2013). Use of a Native Matrix Species to Facilitate Understory Restoration in an Overbrowsed. Invaded Woodland. *Invasive Plant Science and Management.*, 6: 219-230.

- McIntire, E.J.B. Fajardo, A. (2014). Facilitation as a ubiquitous driver of biodiversity. *New Phytologist.*, 20: 403-416.
- Mendoza-Hernández, P.E., Orozco-Segovia, A., Meave, J.A., Valverde, T., Martínez-Ramos, M. (2013). Vegetation recovery and plant facilitation in a human disturbed lava field in a megacity: searching tools for ecosystem restoration. *Plant Ecology.*, 214: 153–167.
- Menezes, L.F.T. Araújo, D.S.D. (1999). Estrutura de duas formações vegetais do cordão externo da Restinga de Marambaia. RJ. *Acta Botanica Brasilica.*, 13: 223-235.
- Michalet, R., Bagousse-Pinguet, Y.L., Maalouf, J., Lortie, C.J. (2014). Two alternatives to the stress-gradient hypothesis at the edge of life: the collapse of facilitation and the switch from facilitation to competition. *Journal Vegetation Science.*, 25: 609-613.
- Molina-Montenegro, M.A., Oses, R., Atala, C., Torres-Diaz, C., Bolados, G., Leon-Lobos, P. (2016). Nurse effect and soil microorganisms are key to improve the establishment of native plants in a semiarid Community. *Journal of Arid Environments* 126: 54-61.
- Navarro-Cano, J.A., Ferrer-Gallego, P.P., Laguna, E., *et al.* (2016). Restoring phylogenetic diversity through facilitation. *Restoration Ecology.*, 24: 449-455.
- Navarro-Cano, J.A., Horner, B., Goberna, M., Verdú, M. (2019). Additive effects of nurse and facilitated plants on ecosystem functions. *Journal Ecology.*, 107: 2587-2597.
- Navarro-Cano, J.A., Verdu, M., Garcia, C., Goberna, M. (2015). What nurse shrubs can do for barren soils: rapid productivity shifts associated with a 40 years ontogenetic gradient. *Plant and Soil.*, 388: 197-209.
- Niering, W.A., Whittaker, R.H., Lowe, C.H. (1963). The saguaro: a population in relation to environment. *Science.*, 142: 15-23.
- Noumi, Z., Chaieb, M., Michalet, R., Touzard, B. (2015). Limitations to the use of facilitation as a restoration tool in arid grazed savanna: a case study. *Applied Vegetation Science.*, 18: 391-401.

- O'Brien, M.J., Menezes, M.J., Brathen, L.T., Losapio, G.K.A., Pugnaire, F.I. (2019). Facilitation mediates species presence beyond their environmental optimum. *Perspectives in Plant Ecology. Evolution and Systematics.*, 38: 24-30.
- Passos, F.B., Lopes, C.D., Aquino, F.D., Ribeiro, J.F. (2014). Nurse plant effect of *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. in area of Brazilian Savanna undergoing a process of restoration. *Brazilian Journal of Botany.*, 37: 251-259.
- Paterno, G.B., Filho, J.A.S., Ganade, G. (2016). Species-specific facilitation. ontogenetic shifts and consequences for plant community succession. *Journal of Vegetation Science.*, 27: 606-615.
- Peláez, M., Dirzo, R., Fernandes, G.W., Perea, R. (2019). Nurse plant size and biotic stress determine quantity and quality of plant facilitation in oak savannas. *Forest Ecology Management.*, 437: 435–442.
- Perea, R., Cunha, J.S., Spadeto, C. *et al.* (2019). Nurse shrubs to mitigate plant invasion along roads of montane Neotropics. *Ecology Engineering.*, 136: 193–196.
- Pugnaire, F.I., Armas, C., Maestre, F.T. (2011). Positive plant interactions in the Iberian Southeast: Mechanisms. environmental gradients. and ecosystem function. *Journal of Arid Environments.*, 75: 1310-1320.
- Pugnaire, F.I., Haase, P., Puigdefabregas, J. (1996). Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology.*, 77: 1420-1426.
- Quon, L.H., Bobich, E.G., Questad, E.J. (2019). Facilitation and herbivory during restoration of California coastal sage scrub. *Restoration Ecology.*, 27: 1041–1052.
- Raath-Kruger, M.J., Schob, C., McGeoch, M.A., le Roux, P.C. (2021). Interspecific facilitation mediates the outcome of intraspecific interactions across an elevational gradient. *Ecology.*, 102: e03200. doi: 10.1002/ecy.3200
- Rocha, F.S., Duarte, L.S., Waechter, J.L. (2015). Positive association between *Bromelia balansae* (Bromeliaceae) and tree seedlings on rocky outcrops of Atlantic Forest. *Journal Tropical Ecology* 31: 195-198.

Scarano, F.R. (2002). Structure, Function and Floristic Relationships of Plant Communities in Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest. *Annals of Botany.*, 9: 517-524.

SER, 2019. Society for Ecological Restoration Washington. Society for Ecological Restoration. 10 Jun 2020. <https://www.ser-rrc.org/what-is-ecological-restoration/>.

Silliman, B.R., Schracka, E., Hea, Q. *et al.* (2015). Facilitation shifts paradigms and can amplify coastal restoration efforts. *Proceedings of the National Academy of Sciences.*, 112: 4295–14300.

Soliveres, S., Smit, C., Maestre, F.T. (2015). Moving forward on facilitation research: response to changing environments and effects on the diversity, functioning and Evolution of plant communities. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society.*, 90: 297–313.

Steenbergh, W.F. Lowe, C.H. (1969). Critical factors during the first years of life of the saguaro (*Cereus giganteus*) at Saguaro National Monument. Arizona. *Ecology.*, 50: 825-834. Steenbergh

Sun, Z., Huang, Y., Yang, L., Schaefer, V., Chen, Y. (2017). Plantation age, understory vegetation, and species-specific traits of target seedlings alter the competition and facilitation role of Eucalyptus in South China. *Restoration Ecology.*, 25: 749–758.

Temperton, V.M., Hobbs, R.J., Nuttle, T.J., Halle, S. (2004). Assembly Rules and Restoration Ecology: Bridging the Gap Between Theory and Practice. Washington DC USA. Island Press. 464p.

Thomson, J.D. (1978). Effects of Stand Composition on Insect Visitation in Two-Species Mixtures of Hieracium. *The American Midland Naturalist.*, 100: 431-440.

Torroba-Balmori, P., Zaldívar, P., Alday, J.G., Fernández-Santos, B., Martínez-Ruiz, C. (2015). Recovering Quercus species on reclaimed coal wastes using native shrubs as restoration nurse plants. *Ecological Engineering.*, 77: 146–153.

- Tsuda, E.T. Castellani, T.T. (2016). *Vriesea friburgensis*: A natural trap or a nurse plant in coastal sand dunes?. *Austral Ecology.*, 41: 273–281.
- Turner, R.M., Alcorn, S.M., Olin, G. (1969). Mortality of transplanted saguaro seedlings. *Ecology.*, 50: 835-844.
- Turner, R.M., Alcorn, S.M., Olin, G., Booth, J.A. (1966). The influence of shade, soil, and water on saguaro seedling establishment. *Botanical Gazette.*, 127: 95-102.
- Urretavizcaya, M. Defossé, G. (2013). Effects of nurse shrubs and tree shelters on the survival and growth of two *Austrocedrus chilensis* seedling types in a forest restoration trial in semiarid Patagonia. Argentina. *Annals of Forest Science.*, 70: 21-30.
- Valiente-Banuet, A. Verdú, M. (2013). Plant Facilitation and Phylogenetics. Annual Review of Ecology. Evolution. and Systematics, 44: 347-366.
- Van Zonneveld, M., Gutiérrez, J.R., Homgren, M. (2012). Shrub facilitation increases plant diversity along an arid scrubland–temperate rain forest boundary in South America. *Journal Vegetation Science*, 23: 541–55.
- Vega-Álvarez, J., García-Rodríguez, J.A., Cayuela, L. (2018). Facilitation beyond species richness. *Journal Ecology.*, 107: 722-734.
- Verdú, J.R., Numa, C., Hernández-Cuba, O. (2011). The influence of landscape structure on ants and dung beetles diversity in a Mediterranean savana-Forest ecosystem. *Ecological Engineering.*, 11: 831-839.
- Verdú, M., Gomez-Aparicio, L., Valiente-Banuet, A. (2012). Phylogenetic relatedness as a tool in restoration ecology: a meta-analysis. *Proceedings of the royal Society B.*, 279: 1761-1767.
- Vieira, I.R., de Araújo, F.S., Zandavalli, R.B. (2013). Shrubs promote nucleation in the Brazilian semi-arid region. *Journal of Arid Environments.*, 92: 42-45.
- Weidlich, E.W.A., Nelson, C.R., Maron, J.L., Callaway, M., Delory, B.M., Temperton V.M. (2021). Priority effects and ecological restoration. *Restoration Ecology.*, 29: e13317. doi: 10.1111/rec.13317

Wright, A.J., Wardle, D.A., Callaway, R., Gaxiola, A. 2017. The overlooked role of facilitation in biodiversity experiments. *Trends in Ecology and Evolution.*, 32: 383-390.

Zaluar, H.L.T. Scarano, F.R. (2000). Facilitação em restingas de moitas: Um século de buscas por espécies focais In: Esteves FA. Lacerda LD (eds.) Restingas: Origem. Estrutura e Processos. Macaé (RJ): NUPEM/UFRJ.

3. CAPÍTULO II – *Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B.Sm (Bromeliaceae) uma planta facilitadora no ecossistema restinga

Resumo

As interações positivas podem reduzir fatores abióticos extremos e melhorar o meio para o estabelecimento e colonização de espécies, especialmente em ambientes onde as condições climáticas limitam o estabelecimento das plantas, como em áreas de restinga. Espécies da família Bromeliaceae são consideradas facilitadoras potenciais devido à sua capacidade de reduzir a temperatura, aumentar a umidade, acumular água nas rosetas e enriquecer o solo com nutrientes, permitindo a chegada, estabelecimento e desenvolvimento de outras espécies. Neste estudo, avaliamos o papel da bromélia *Aechmea blanchetiana* como facilitadora em áreas de moitas no ecossistema restinga. A pesquisa foi conduzida em Conceição da Barra, no município do Espírito Santo, Brasil. Realizamos levantamentos florísticos em uma formação arbustiva aberta não inundável, com e sem a presença de *A. blanchetiana*, e verificamos a germinação e crescimento de espécies nos tanques das bromélias. Registraram-se parâmetros fitossociológicos, como abundância e riqueza de espécies, e utilizamos esses dados para realizar análises estatísticas, incluindo regressões lineares, curvas de rarefação e cálculo de índices de similaridade, teste de associação, densidade e frequência relativa. Observamos que a abundância de espécies não diferiu entre as moitas com e sem *A. blanchetiana*, no entanto, encontramos uma maior riqueza de espécies nas moitas com a presença da bromélia. As regressões lineares indicaram uma relação positiva entre o aumento da riqueza específica e o aumento da área das moitas, mas a presença de *A. blanchetiana* não afetou esses valores. O teste de associação *chi*-quadrado revelou que apenas *Clusia hilariana* apresentou uma relação positiva com a bromélia, sendo uma das seis espécies encontradas germinando entre as folhas de *A. blanchetiana*. Embora a bromélia não atue como facilitadora para todas as espécies, algumas parecem se beneficiar dessa interação. Além da relação positiva entre *A. blanchetiana* e *C. hilariana*, a presença da bromélia em áreas de moitas permite a germinação de diferentes espécies e parece aumentar a riqueza específica, indicando seu papel facilitador na estrutura da comunidade.

Introdução

Os estudos de interação entre planta-planta são determinados por modelos de sucessão ecológica como inibição, tolerância e facilitação (Connell & Slatyer, 1977). Embora estes modelos tenham sido mencionados no começo do século XX (Clements, 1929), as pesquisas sobre interações positivas ganharam força apenas no final desse século, permitindo avaliar o papel da facilitação na formação de comunidades vegetais (Connell & Slatyer, 1977; Dawson, 1993; Callaway, 1995; Pugnaire *et al.*, 1996).

Interações positivas entre espécies vegetais, como os mecanismos de facilitação, ocorrem quando um ou ambos os indivíduos são beneficiados (Bertness & Callaway, 1994; Bruno *et al.*, 2003; Brooker *et al.*, 2008). Esses mecanismos podem ocorrer de forma direta ou indireta, resultando em melhorias nos índices bióticos ou abióticos ao longo do tempo (Callaway, 1995; Zaluar & Scarano, 2000; Abiyu *et al.*, 2017; Abd-ElGawad *et al.*, 2020; Lucas *et al.*, 2021), e influenciando positivamente a dinâmica e a estrutura das comunidades (Pugnaire *et al.*, 1996; Valiente-Banuet & Verdú, 2013; McIntire & Fajardo, 2014; Cavieres *et al.*, 2016; Liancourt & Dolezal, 2021).

Os mecanismos de facilitação e competição podem variar de acordo com as condições ambientais, ocorrendo de forma individual ou simultânea (Zaluar & Scarano, 2000; Kikvidze *et al.*, 2011; Cavieres *et al.*, 2014; Al-Namazi *et al.*, 2017; O'Brien *et al.*, 2019). Em áreas de restinga, onde os solos podem apresentar altas temperaturas, intensa luminosidade, baixo teor de nutrientes, altos níveis de salinidade e substrato arenoso instável (Menezes *et al.*, 2010), a presença de indivíduos facilitadores desempenha um papel importante na ocorrência de certas espécies em áreas abertas (Shumway, 2000; Scarano, 2002; Garbin *et al.*, 2012; Dalotto *et al.*, 2018).

A sucessão ecológica relacionada à facilitação pode ser caracterizada pela formação de uma vegetação inicial que, a partir de modificações ambientais tornam o meio favorável para o desenvolvimento de outras espécies (Connell & Slatyer, 1977). Esse processo pode ocorrer pela formação da copa de um único indivíduo, permitindo a chegada de outras espécies e, conseqüentemente, a formação de moitas de vegetação (Yarranton & Morrison, 1974). A eficiência na formação dessa agregação de indivíduos está relacionada à capacidade de colonização do ambiente (Scarano, 2002), e o

aumento do número de espécies está relacionado ao tamanho da área, ou seja, quanto maior a área, maior o número de espécies (Gleason, 1922). De fato, em áreas arbustivas de moitas em ambientes desérticos, já foi observada uma relação positiva entre o tamanho da moita e a riqueza específica (Maestre & Cortina, 2005; O'Brien *et al.*, 2019).

Estudos com espécies da família Bromeliaceae indicam que esses indivíduos têm um papel facilitador em diferentes ecossistemas (Scarano, 2002; Rocha *et al.*, 2015; Daloto *et al.*, 2018), principalmente ao favorecer o estabelecimento de espécies em ambientes áridos, maximizando o uso da água (Beduschi & Castellani, 2008). Hay e Lacerda (1980) e Souza *et al.* (2016) demonstraram que a presença da bromélia *Neoregelia cruenta* (R.Graham) L.B.Sm., por exemplo, melhora a qualidade do solo em relação ao teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes, auxiliando no estabelecimento de indivíduos de outras espécies e, conseqüentemente, na formação de agrupamentos vegetais. Outros estudos em áreas de restinga descreveram a germinação de plântulas nos tanques de bromélias (Macedo & Monteiro, 1987; Fialho, 1990; Fialho & Furtado, 1993), sendo esse processo facilitado pela redução do estresse hídrico, acumulação de água nas rosetas, sombreamento e modificações positivas na retenção de água do solo (Beduschi & Castellani, 2008).

Aechmea blanchetiana (Baker) L. B. Smith. (Figura 1) é uma bromélia endêmica do bioma Mata Atlântica, encontrada nos estados da Bahia e Espírito Santo (CNCFlora, 2012). A espécie ocorre em habitats terrestres, com folhagens e inflorescências vistosas, formando touceiras em áreas de pleno sol ou meia-sombra (Lorenzi & Souza, 2001). Devido ao adensamento desses indivíduos e à sua ocorrência em vegetação arbustiva aberta de restinga, estudos sobre seu potencial papel facilitador pode fornecer informações sobre o estabelecimento e a manutenção das espécies nesse ecossistema. Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar o papel facilitador de *A. blanchetiana* em uma formação arbustiva aberta de restinga, caracterizada por moitas, testando as seguintes hipóteses: (1) A presença da *A. blanchetiana* e a área da moita interferem positivamente na riqueza e abundância de espécies arbustivas/arbóreas; (2) *A. blanchetiana* facilita a germinação e crescimento de espécies arbustivas/arbóreas.



Figura 1 – Indivíduos de *Aechmea blanchetiana* no ecossistema restinga.

Material e Métodos

Área de Trabalho

O trabalho foi conduzido na Área de Proteção Ambiental de Conceição da Barra (APACB), localizada na cidade de Conceição da Barra, Espírito Santo, Brasil ($18^{\circ} 40' 58.8''S$ $39^{\circ} 47' 27.3''W$). A área consiste em um ecossistema restinga, especificamente em uma formação arbustiva aberta não inundável caracterizada por moitas.

A região apresenta clima tropical chuvoso (tipo *Af* de Köppen), sem uma estação seca no inverno (Alvares *et al.* 2014). A temperatura média anual de $24,4^{\circ}C$, com variação entre $32^{\circ}C$ em fevereiro e $17,7^{\circ}C$ em agosto. Já a média anual de precipitação é de $1.175,1$ mm, sendo o período chuvoso de outubro a abril ($847,9$ mm) e o período menos chuvoso de maio a setembro, com um total de $327,1$ mm (Incap, 2020).

Coleta de dados

As coletas de dados foram realizadas em 25 ao longo de 2019, abrangendo os meses de janeiro a dezembro, em uma formação arbustiva aberta não inundável. Foram estabelecidos dez transectos paralelos sentido norte-sul (sentido estrada-área com vegetação), com dimensões de 50 m x 2 m, e uma distância mínima de 30 m entre eles. Esses transectos foram instalados no ambiente e o tamanho dos transectos foi determinado pela média da área amostral que abrangia as moitas.

Para este estudo cada moita foi considerada uma unidade amostral e definida como um agrupamento com mais de um indivíduo, com sobreposição de copas e separadas entre si por área desprovidas de vegetação (Menezes & Araujo, 2005). Todas as moitas que se encontravam em contato com os transectos foram consideradas para o estudo, sendo as primeiras 21 com a presença da *A. blanchetiana* e as outras 21 sem a presença dessa espécie. Em cada moita, foram medidas as dimensões de comprimento e largura, e a área de cada moita foi calculada utilizando a fórmula da elipse ($\text{comprimento}/2 \times \text{largura}/2 \times \pi$), onde $\pi = 3,1415$.

O material botânico (arbustos e árvores) coletado foi identificado por bibliografias especializadas, comparação de exsicatas e consultas a especialistas. Os indivíduos férteis depositados no herbário SAMES da Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

Juntamente com o levantamento florístico, nas moitas com *A. blanchetiana*, foi verificado a ocorrência de indivíduos germinando ou em crescimento dentro das rosetas. Aleatoriamente, foram selecionadas cinco rosetas por moita, com uma distância entre elas. Os indivíduos encontrados nas rosetas foram coletados e identificados, seguindo a metodologia do levantamento florístico.

Análise de dados

Os parâmetros abundância (número de indivíduos) e riqueza (número de espécies) foram analisados tanto ao nível de comunidade (42 moitas) quanto em moitas com (21 moitas) e moitas sem *A. blanchetiana* (21 moitas). As duas categorias de moitas foram comparadas entre si usando o teste *t* de *Student*. Os dados de riqueza foram apresentados graficamente por meio de curvas de rarefação, baseadas nos indivíduos amostrados, utilizando o programa *Rstudio*.

Para analisar a similaridade entre as moitas com e sem *A. blanchetiana*, foram realizadas análises de similaridade usando o índice de Sørensen (baseado na presença/ausência de espécies) e o índice de Morisita-Horn (baseado no número de indivíduos por espécie). Os resultados dessas análises variam entre 0 e 1, onde valores > 0,5 são considerados altos, e quanto mais próximo de 1, maior a similaridade entre as áreas avaliadas (Horn, 1966). Essas análises foram realizadas no programa *Rstudio*.

Os parâmetros fitossociológicos, como densidade relativa e frequência relativa, foram calculados para moitas com e sem *A. blanchetiana* e apresentados em gráficos de barras empilhadas construídos no *Excel*. A densidade relativa foi calculada pela fórmula $DR = (n / N) * 100$, onde *n* = densidade da espécie e *N* = densidade total de todas as espécies e a $FR = FA_i / \sum FA * 100$, onde *Fai* é a frequência absoluta de uma determinada espécie e $\sum FA$ = somatório das frequências absolutas de todas as espécies.

Com o objetivo de avaliar a relação entre o aumento da riqueza com o aumento da área, os dados de riqueza específica e tamanho de cada moita foram utilizados para construção de três regressões lineares: comunidade (42 moitas), moitas com *A. blanchetiana* (21 moitas) e moitas sem *A. blanchetiana* (21 moitas). Essas regressões foram calculadas considerando um intervalo de confiança de 95%.

Por fim, para avaliar a associação de espécies à *A. blanchetiana*, foi realizado o teste de associação *chi-quadrado* no programa *Excel*, a partir de uma tabela de contingência:

		espécie B		
		Presente	Ausente	
espécie A	presente	A	B	m=a+b
	ausente	C	D	n=c+d
		r=a+c	s=b+d	N=a+b+c+d

Onde:

espécie A = foi considerada a bromélia *A. blanchetiana*

espécie B = cada espécie avaliada (excluindo *A. blanchetiana*).

a = número de amostras onde ambas as espécies ocorrem

b = número de amostras onde a espécie A ocorre, mas a espécie B está ausente.

c = número de amostras onde a espécie B ocorre, mas a espécie A está ausente.

d = número de amostras onde nenhuma das espécies ocorre.

N = número total de amostras.

E após realizado o cálculo do *Chi*-Quadrado pela fórmula:

$$X^2 = N (ad - bc)^2 / Nrs$$

Para este teste foi utilizado a probabilidade de 5% e um grau de liberdade do *Chi*-quadrado teórico da tabela, definido como 3,84. Valores maiores que 3,84 rejeitaram a hipótese nula de que não há associação entre as duas espécies. Assim, foi avaliado dois tipos de associação: I) positiva, onde $a > \hat{a}$ ou II) negativa, onde $a < \hat{a}$.

Sendo: $\hat{a} = N / a + b$

Resultados

Os resultados do levantamento florístico mostraram a coleta de um total de 49 espécies, pertencentes a 24 famílias (Tabela 1). As famílias com maior riqueza foram Myrtaceae (11 espécies), Fabaceae (08) e Bromeliaceae (05).

Das 49 espécies encontradas, 46 foram observadas em moitas com a presença da *A. blanchetiana*, enquanto 33 espécies foram observadas em moitas sem a presença bromélia. Nas duas categorias de moitas, as famílias com maior riqueza foram Myrtaceae (11/07) e Fabaceae (06/04) (Tabela 1). Um total de 30 espécies ocorreram em ambos os tipos de moita, sendo apenas três espécies exclusivas de moitas sem bromélia e 16 espécies exclusivas de moitas com *A. blanchetiana*.

As espécies mais abundantes foram *Agarista revoluta* (62), *Eugenia astringens* (59), *Protium heptaphyllum* (37) e *Clusia hilariana* (27). Apenas *E. astringens* apresentou menor abundância em moitas com *A. blanchetiana*. Os valores médios de abundância de indivíduos por moita foram de sete a 12, respectivamente, para moitas sem e com *A. blanchetiana*, e esses valores não apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p = 0,1562$). No entanto, em relação à riqueza, os valores médios foram de cinco a sete indivíduos, e esses dados mostraram diferença estatisticamente significativa ($p = 0,0014$), com maior riqueza em moitas com *A. blanchetiana*. As curvas de acumulação de espécies (Figura 2) indicaram a não sobreposição dos intervalos de confiança quando o número de indivíduos foi rarefeito para 150, o que indica diferença na riqueza de espécies entre os dois tipos de moitas, com maior riqueza em moitas com *A. blanchetiana*. Os índices de similaridade indicaram valores entre 0,185 (índice de Sørensen) e 0,874 (índice de Morisita-Horn) entre as moitas com e sem *A. blanchetiana*.

Tabela 1. Lista florística de uma vegetação arbustiva aberta de restinga, caracterizada por moitas na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), situado no município de Conceição da Barra/ES.

Família	Espécie	CB	SB	Abundância CB	Abundância SB
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	x	x	4	10
Apocynaceae	<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	x	x	4	1
Burseraceae	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	x	x	24	13
Calophyllaceae	<i>Kielmeyera membranacea</i> Casar.	x		2	0
Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J. Presl	x	x	3	5
Chrysobalanaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i> L.	x		1	0
Clusiaceae	<i>Clusia hilariana</i> (Mansf.) Bittrich	x	x	25	2
Ericaceae	<i>Agarista revoluta</i> (Spreng.) J.D. Hook. ex Nied.	x	x	38	24
Euphorbiaceae	<i>Croton</i>	x	x	2	1
Fabaceae	<i>Abarema filamentosa</i> (Benth.) Pittier	x		1	0
	<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.	x		2	0
	<i>Andira nitida</i> Mart. ex Benth.	x	x	2	1
	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	x	x	10	6
	<i>Swartzia apetala</i> Raddi	x	x	8	7
	<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	x	x	12	6
Lauraceae	<i>Ocotea notata</i> (Nees & Mart.) Mez	x		1	0
Lecythidaceae	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Miers	x		5	0
Malpighiaceae	<i>Byrsonima sericea</i> DC.	x	x	3	3
Melastomataceae	<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Steud.	x	x	1	2
Myrtaceae	Myrtaceae 01	x		1	0
	<i>Eugenia 01</i>	x		3	0
	<i>Eugenia 02</i>		x	0	1
	<i>Eugenia 03</i>		x	0	1
	<i>Eugenia 04</i>	x		1	0
	<i>Eugenia astringens</i> Cambess.	x	x	29	30
	<i>Gaylussacia brasiliensis</i> (Spreng.) Meisn.	x	x	19	6
	Myrcia 01	x	x	4	8
	Myrcia 02	x	x	2	2
	Myrtaceae 02	x		1	0
	Myrtaceae 03	x		2	0
	Myrtaceae 04	x		2	0
	<i>Psidium guineense</i> Sw.	x	x	3	1
Nyctaginaceae	<i>Guapira obtusata</i> (Jacq.) Little	x	x	1	1
	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	x	x	3	4
Ochnaceae	<i>Ouratea cuspidata</i> (A.St.-Hil.) Engl.	x	x	6	4
Peraceae	<i>Pera glabrata</i> (Schott) Baill.	x	x	2	3
Piperaceae	<i>Piper arboreum</i> Aubl.	x	x	6	1
Polygalaceae	<i>Coccoloba alnifolia</i> Casar.	x	x	8	5
	<i>Coccoloba laevis</i> Casar.	x	x	1	1
Primulaceae	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	x	x	7	1
	<i>Myrsine parvifolia</i> A. DC.	x		2	0
Rubiaceae	<i>Pagamea guianensis</i> Aubl.		x	0	1
	<i>Palicourea blanchetiana</i> Schltld.	x	x	3	6
	<i>Salzmannia</i>	x		2	0
Sapindaceae	<i>Cupania emarginata</i> Cambess.	x	x	3	3
	<i>Paullinia revoluta</i> Radlk	x	x	1	1
	<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	x		1	0
Sapotaceae	<i>Manilkara subsericea</i> (Mart.) Dubard.	x	x	2	5
	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	x		2	0

CB Indivíduos presentes em moitas com bromélia

SB Indivíduos presentes em moitas sem bromélia

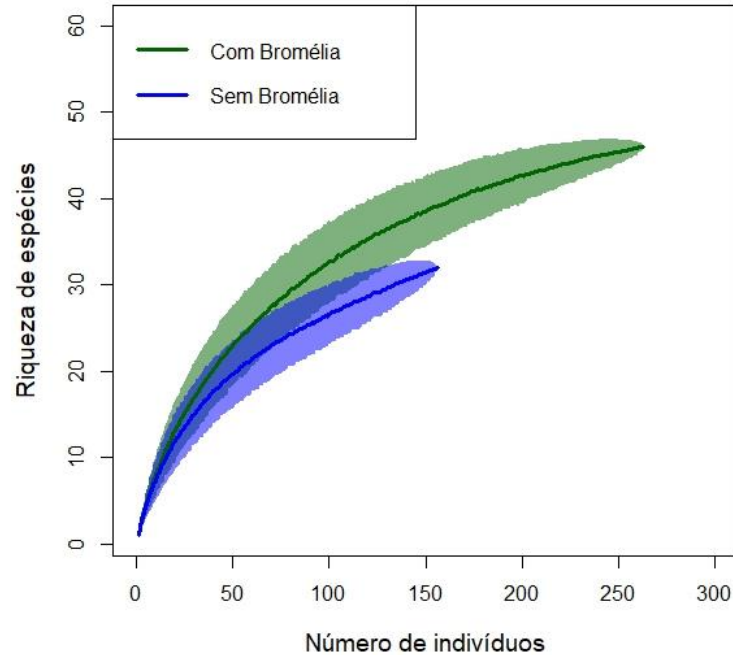


Figura 2 - Curvas de rarefação das espécies em moitas com e sem *Aechmea blanchetiana*, baseadas no número de indivíduos, em uma vegetação arbustiva aberta de restinga, caracterizada por moitas, na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), situada no município de Conceição da Barra/ES.

Os parâmetros de densidade relativa (Figura 3) e frequência relativa (Figura 4) foram calculados para as espécies nas moitas com e sem *A. blanchetiana*. Os resultados mostram que *Eugenia astringens* e *Agarista revoluta* apresentaram valores mais altos em ambas as avaliações, tanto em moitas com a bromélia quanto em moitas sem ela.

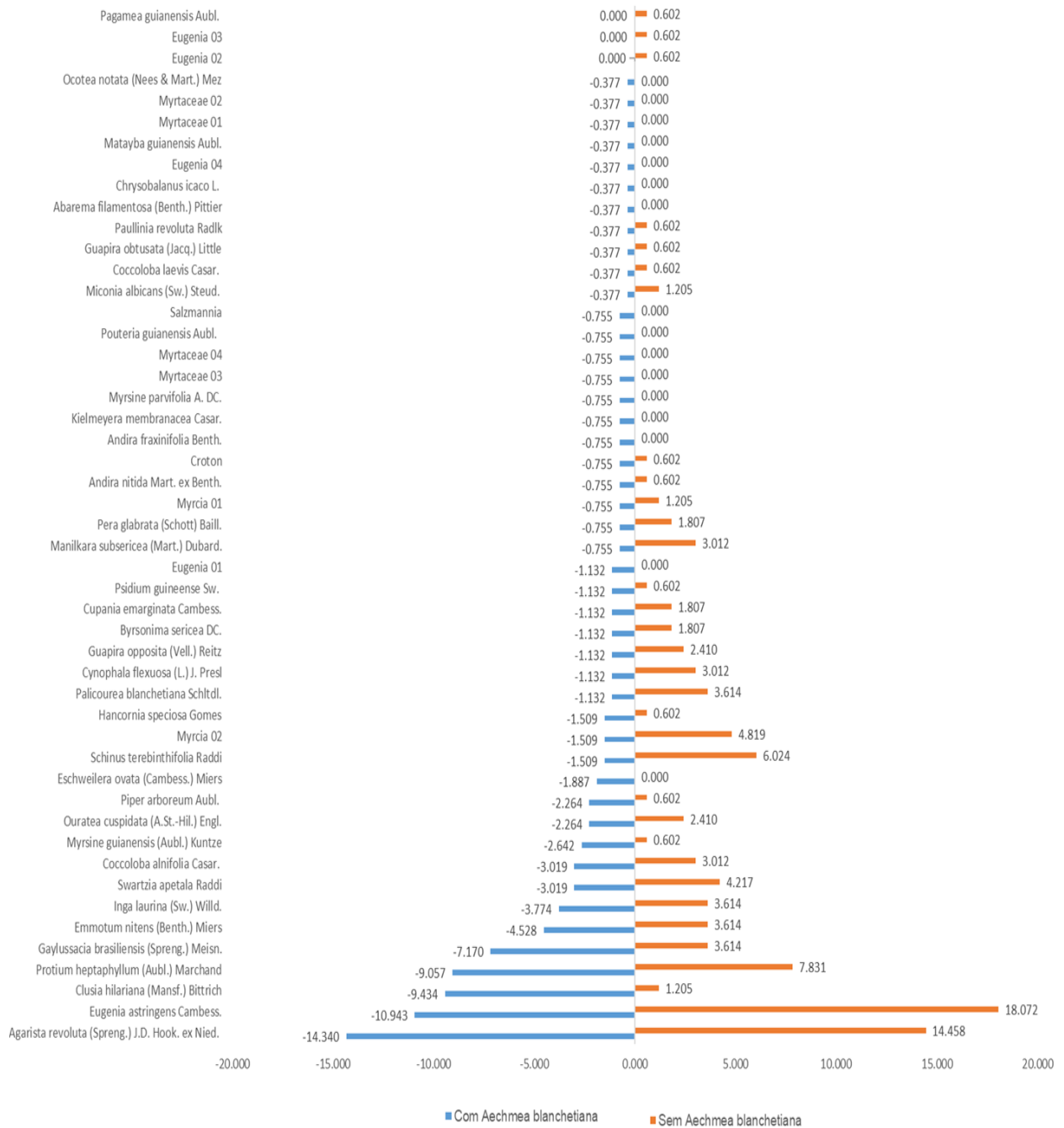


Figura 3 - Densidade relativa de espécies ocorrentes em moitas com e sem *Aechmea blanchetiana* na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), situado no município de Conceição da Barra/ES.

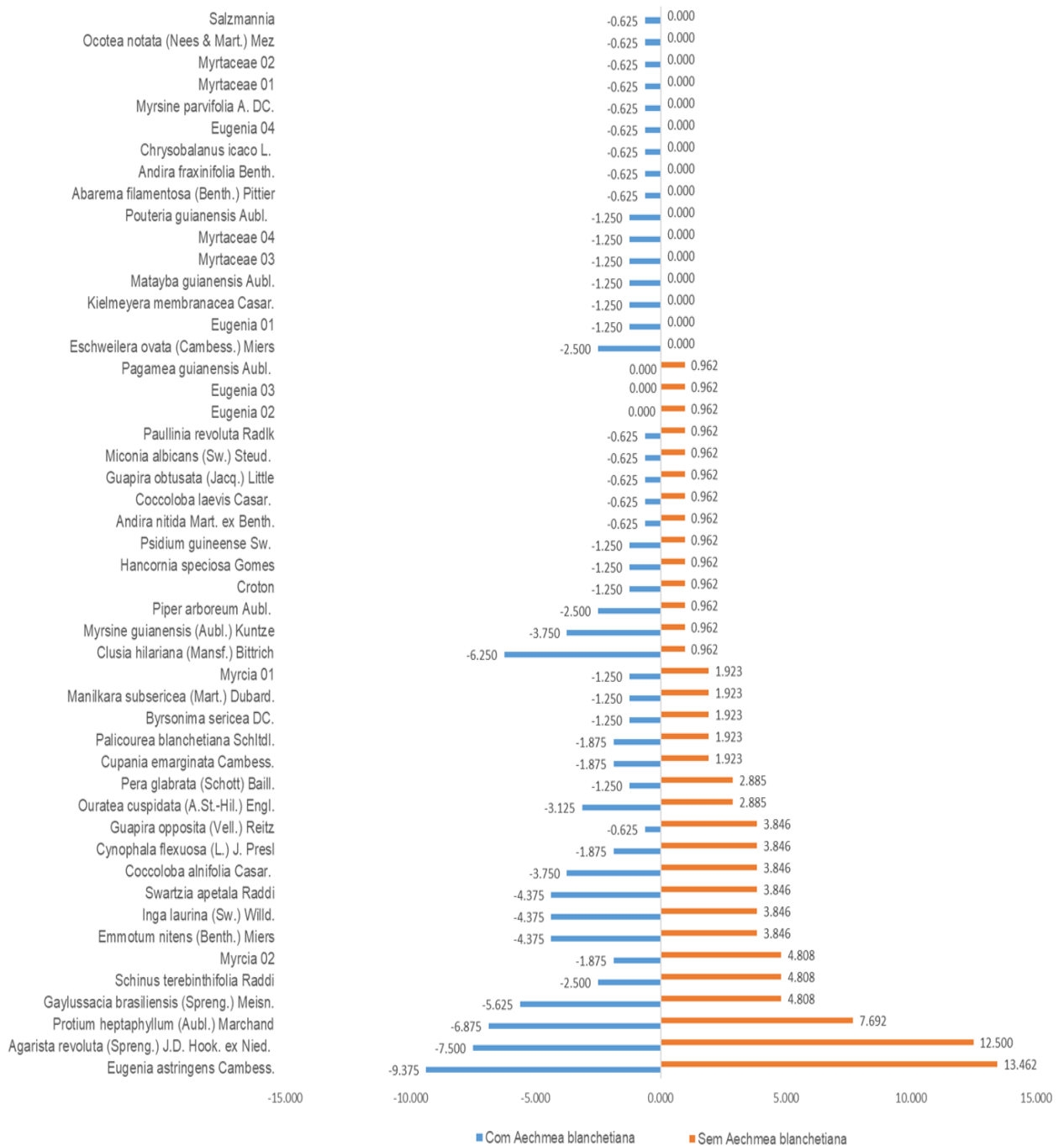


Figura 4 - Frequência relativa de espécies ocorrentes em moitas com e sem *Aechmea blanchetiana* na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), situado no município de Conceição da Barra/ES.

Ao analisar a relação entre a riqueza de espécies e o tamanho das moitas nas três avaliações (comunidade, moitas com *A. blanchetiana* e moitas sem *A. blanchetiana*), foram observadas inclinações positivas nas retas ajustadas (Figura 4; Figura 5: A. B). Além disso, os valores do coeficiente angular foram positivos, indicando uma relação positiva e significativa entre o aumento da riqueza e o aumento da área das moitas.

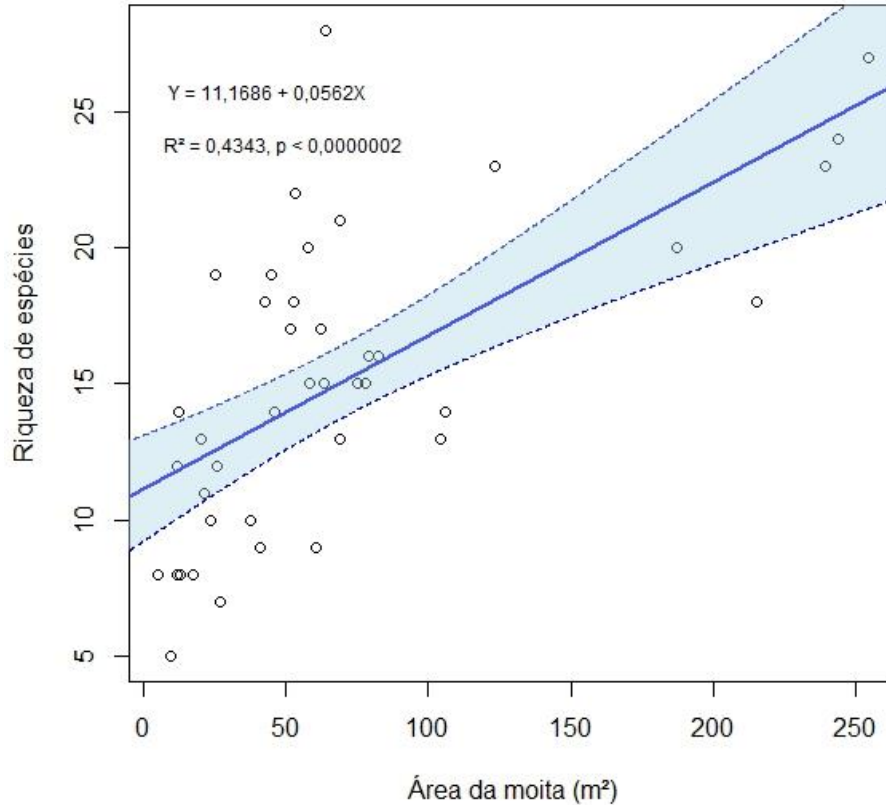


Figura 5 -Regressão linear das espécies coletadas em uma área arbustiva de restinga, caracterizada por moitas, na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), localizada no município de Conceição da Barra/ES.

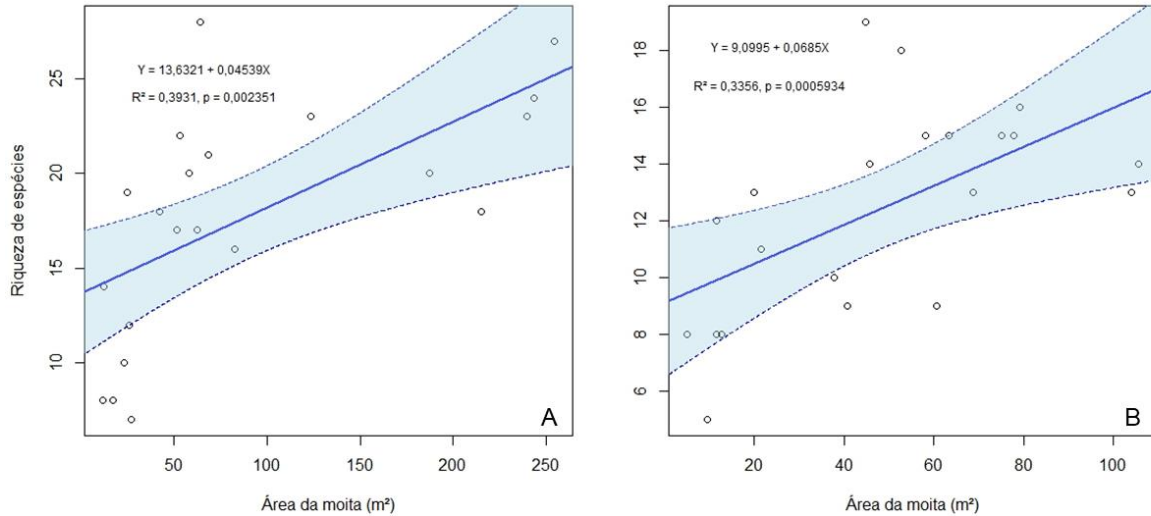


Figura 6 - Regressões lineares das espécies coletadas em moitas com e sem *Aechmea blanchetiana* na área de proteção ambiental de Conceição da Barra (APACB), situado no município de Conceição da Barra/ES. A – Regressão linear de espécies coletadas em moitas com *A. blanchetiana*; B – Regressão linear de espécies coletadas em moitas sem *A. blanchetiana*.

No teste de associação entre espécies, apenas *Clusia hilariana* Schltld. apresentou uma relação com a bromélia *A. blanchetiana*, com um valor de chi-quadrado igual a 6,69. Isso indica uma associação positiva entre essas duas espécies. É interessante observar que *C. hilariana* é uma das espécies mais abundantes e apresenta valores altos nos parâmetros de densidade relativa e frequência relativa nas moitas com a presença de *A. blanchetiana* (conforme mencionado na Tabela 1). Por outro lado, nas moitas sem *A. blanchetiana*, essa espécie é representada por apenas dois indivíduos.

Além disso, foram encontrados indivíduos germinando e crescendo dentro do tanque da bromélia *A. blanchetiana* em todas as moitas avaliadas (conforme mostrado na Figura 7). Seis espécies foram identificadas nesse ambiente: *Agarista revoluta* (Spreng.) Hook. f. ex Nied. (Figura 7: A), *Schinus terebinthifolia* Raddi (Figura 7: B), *C. hilariana* (Figura 7: C), *Eugenia astringens* Cambess. (Figura 7: D) e duas espécies indeterminadas (Figura 7: E, F).

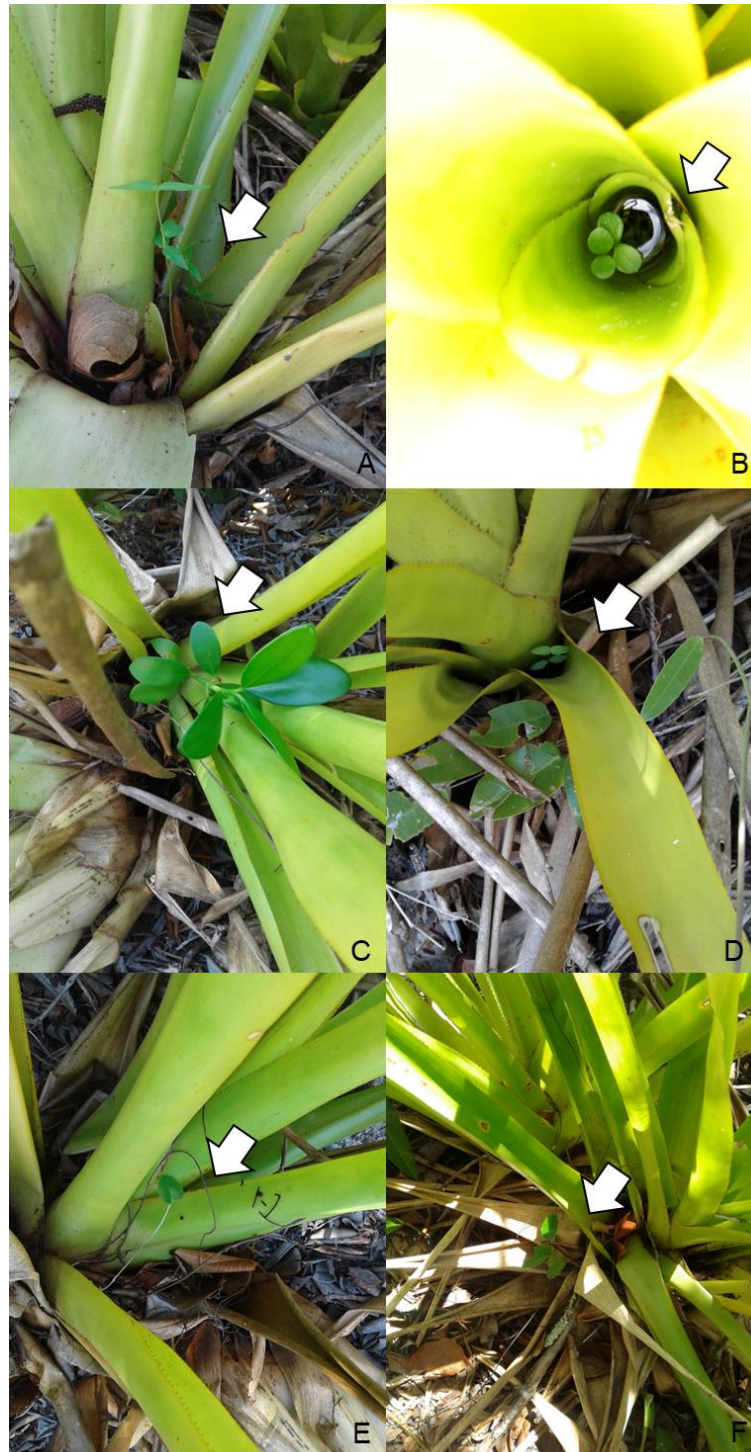


Figura 7 – Espécies encontradas germinando e crescendo na roseta da bromélia *Aechmea blanchetiana*. A – *Agarista revoluta* (Spreng) J.D. Hook. Ex Nied; B – *Schinus terebinthifolia* Raddi; C – *Clusia hilariana* Schldt; D – *Eugenia astringens* Cambess; E –

Indeterminada 1; F – Indeterminada 2. As setas sinalizam as espécies em desenvolvimento.

Discussão

Os resultados encontrados neste estudo demonstram a importância da bromélia *A. blanchetiana* como uma espécie facilitadora no ecossistema de restinga. Essa conclusão é suportada pela maior riqueza encontrada em moitas com *A. blanchetiana*, pela germinação e crescimento de espécies dentro dos tanques da bromélia e pela associação positiva observada com a espécie *C. hilariana*.

Os resultados deste estudo estão alinhados com outros estudos que destacam o papel facilitador de diferentes espécies de bromélias em áreas de restinga (Hay & Lacerda, 1980; Beduschi & Castellani, 2008). Espécies facilitadoras são capazes de colonizar ambientes com baixa regeneração (Callaway, 1995), promovendo a formação de agregações espaciais que favorecem o desenvolvimento da vegetação (Yarranton & Morrison, 1974; Pugnaire *et al.*, 1996; Scarano, 2002). A presença de *A. blanchetiana* nas moitas resultou em uma maior riqueza de espécies em comparação com as moitas sem a bromélia. Esses achados são consistentes com estudos anteriores que mostram como a presença de bromélias pode melhorar as condições microclimáticas e aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo, contribuindo para a diversidade de plantas em áreas de restinga.

Os valores de densidade relativa e frequência relativa destacaram as espécies *E. astringens* e *A. revoluta* como as mais representativas na comunidade estudada, sendo estas consideradas espécies comuns em áreas de formação arbustiva de restinga, como observado no plano de Manejo da APA de Conceição da Barra de 2014 (IEMA, 2014). No entanto, os resultados indicaram que essas espécies não apresentam uma relação clara com a presença da bromélia *A. blanchetiana*. O mesmo padrão foi observado para *S. terebinthifolia*. Portanto, a presença da bromélia não parece estar diretamente relacionada aos parâmetros fitossociológicos dessas espécies.

No entanto, o teste de associação mostrou que apenas *C. hilariana* apresentou uma relação significativa com a bromélia. Isso é relevante porque *C. hilariana* já foi indicada como uma espécie facilitadora em ecossistemas de restinga (Zaluar & Scarano, 2000). A associação entre a bromélia e *C. hilariana* indica que a presença da *A. blanchetiana* proporciona um ambiente propício para a germinação e crescimento dessa espécie, contribuindo para sua manutenção nas áreas de moitas de restinga.

Talvez aqui esteja uma das explicações para o início de um complexo processo de sucessão ecológica em áreas abertas de restingas, conforme também apresentado por Menezes *et al.* (2018) onde é elucidado o estabelecimento inicial da palmeira *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze.

A relação entre bromélias-tanque e espécies do gênero *Clusia* tem sido mencionada na literatura, com estudos anteriores indicando uma associação positiva (Beduschi & Castellani, 2008; Tsuda & Castellani, 2016). Os resultados deste estudo corroboram essas indicações, mostrando que a presença da bromélia *A. blanchetiana* não apenas facilita a germinação e o crescimento de *C. hilariana*, mas também promove um aumento no número de indivíduos dessa espécie no ambiente.

É importante ressaltar que *C. hilariana* ocorre em moitas com e sem a bromélia, porém, a abundância de indivíduos é significativamente maior nas moitas com a bromélia. Esses achados estão em consonância com estudos anteriores, como o de Zaluar e Scarano (2000), que mencionam a presença de indivíduos adultos de *Clusia* em micro-habitats favoráveis para sua germinação. Portanto, a associação entre *A. blanchetiana* e *C. hilariana* em micro-habitats favoráveis para sua germinação e o crescimento dessa espécie, desempenhando um papel positivo na manutenção dos indivíduos nas áreas de moitas de restinga.

No entanto, a baixa abundância, densidade relativa e frequência relativa de *C. hilariana* em moitas sem *A. blanchetiana* sugere que a presença da bromélia-tanque não é o único ambiente necessário para o desenvolvimento dessa espécie. Isso indica que outras condições ou interações podem estar influenciando a presença e o estabelecimento de *C. hilariana* nessas áreas. No entanto, na presença da *A.*

blanchetiana, observa-se um aumento nos valores dos parâmetros de densidade e frequência relativa de *C. hilariana*, sugerindo uma influência positiva da bromélia nesses aspectos.

A germinação de semente nas rosetas das bromélias em áreas de restinga tem sido mencionada na literatura desde a década de 1980 (Macedo & Monteiro, 1987; Scarano, 2002; Martinez & Garcia-Franco, 2004; Tsuda & Castellani, 2016). Essas estruturas são consideradas microsítios importantes para capturar e acumular sementes (Barberis *et al.*, 2011) e o formato espiralado das folhas das bromélias-tanque permite o acúmulo de água, o que pode ter um efeito positivo nas chances de germinação das sementes quando elas chegam ao tanque (Correia *et al.*, 2013). Portanto, a presença de seis espécies que foram encontradas germinando e crescendo dentro dos tanques de *A. blanchetiana* reforça o papel positivo das bromélias na germinação e no estabelecimento de diferentes espécies, demonstrando sua contribuição como facilitadoras no processo de sucessão ecológica nas restingas.

A relação entre o tamanho das moitas e a riqueza específica observada nas regressões lineares indicaram que quanto maior a área da moita maior a riqueza específica, não sendo observada uma relação clara com a bromélia. A avaliação ao nível de comunidade apresentou maior coeficiente angular, dados estes já observados por Ribas (1992) e Maestre & Cortina (2005) onde em um ambiente desértico com formação de moitas, os autores citam a relação positiva entre o aumento da moita e o aumento da riqueza específica.

No que diz respeito à relação entre o tamanho das moitas e a riqueza específica, as regressões lineares indicaram que quanto maior a área da moita, maior a riqueza específica. No entanto, não foi observada uma relação clara com a presença da bromélia. Esses resultados estão em concordância com estudos anteriores, como os de Ribas (1992) e Maestre & Cortina (2005), que observaram uma relação positiva entre o aumento do tamanho da moita e o aumento da riqueza específica em um ambiente desértico com formação de moitas.

Em resumo, os resultados deste estudo destacam a espécie *A. blanchetiana* como uma facilitadora em uma área de restinga arbustiva aberta não inundável. A bromélia-tanque desempenha um papel importante na germinação e no estabelecimento de diferentes espécies, atuando como microsítios favoráveis para a captura e acumulação de sementes. Além disso, o tamanho das moitas influencia a riqueza específica, mostrando uma relação positiva entre a área da moita e a diversidade de espécies. Essas descobertas contribuem para o entendimento da ecologia das restingas e do papel das interações entre as espécies nesse tipo de ambiente.

Referências

- Abd-ElGawad, A.M., Rashad, Y.M., Abdel-Azeem, A.M., Al-Barati, S.A., Assaeed, A.M., Mowafy, A.M. (2020). *Calligonum polygonoides* L. Shrubs Provide Species-Specific Facilitation for the Understory Plants in Coastal Ecosystem. *Biology.*, 9: 232.
- Abiyu, A., Teketay, D., Glatzel, G., Aerts, R., Gratzner, G. (2017). Restoration of degraded ecosystems in the Afromontane highlands of Ethiopia: comparison of plantations and natural regeneration. *Southern Forests.*, 27: 103-108.
- Al-Namazi, A.A., El-Bana, M.I., Bonser, S.P. (2017). Competition and facilitation structure plant communities under nurse tree canopies in extremely stressful environments. *Ecology Evolution.*, 7: 2747–2755.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift.*, 22: 711-728.
- Barberis, I.M., Boccanelli, S.I., Azugaray, C. (2011). Terrestrial bromeliads as seed accumulation microsities in a xerophytic forest of Southern Chaco, Argentina. *Bosque (Valdivia).*, 32: 57- 63.
- Beduschi, T. Castellani, T.T. (2008). Estrutura populacional de *Clusia criuva* (Clusiaceae) e relação espacial com espécies de bromélias no Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, Florianópolis, SC. *Biotemas.*, 21: 41-50.

- Bertness, M. Callaway, R.M. (1994). Positive interactions in communities. *Trends in Ecology Evolution.*, 9: 191-193.
- Brooker, R.W., Maestre, F.T., Callaway, R.M., *et al.* (2008). Facilitation In Plant Communities: The Past. The Present. And The Future. *Journal Ecology.*, 96: 18-34.
- Bruno, J.F., Stachowicz, J.J., Bertness, M.D. (2003). Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in Ecology & Evolution.*, 18: 119-125.
- Callaway, R.M. (1995). Positive interactions among plants. *The Botanical Review.*, 61: 306–349.
- Cavieres, L., Brooker, R.W., Butterfield, B. *et al.* (2014). Facilitative plant interactions and climate simultaneously drive Alpine. *Ecology Letter.*, 17: 193-202.
- Cavieres, L.A., Hernández-Fuentes, C., Sierra-Almeida, A., Kikvidze, Z., (2016). Facilitation among plants as an insurance policy for diversity in Alpine communities. *Functional Ecology.*, 30: 52-59.
- CNCFlora. *Aechmea blanchetiana* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Aechmea blanchetiana](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Aechmea%20blanchetiana)>. Acesso em 23 março 2022.
- Connell, J.H., Slatyer, R.O. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist.*, 111: 1119–1144.
- Correia, C.M.B., Lima, H.A., Silva, O.S. (2013). Caracterização dos frutos, sementes e plântulas de espécies de Clusiaceae das restingas do Rio de Janeiro. *Rodriguésia.*, 64: 61-73.
- Dalotto, C.E.S., Sühs, R.B., Dechoum, M.S., Pugnaire, F.I., Peroni, N., Castellani, T.T. (2018). Facilitation influences patterns of perennial species abundance and richness in a subtropical dune system. *AoB Plants* 10: ply017. doi: 10.1093/aobpla/ply017

- Dawson, T.E. (1993). Hydraulic lift & water use by plants: implications for water balance, performance & plant-plant interactions. *Oecologia.*, 95: 565-574.
- Fialho, R.F. (1990). Seed dispersal by a lizard & a treefrog - effect of dispersal site on seed survivorship. *Biotropica.*, 22: 423-424.
- Fialho, R.F. Furtado, A.L.S. (1993). Germination of *Erythroxylum ovalifolium* (Erythroxylaceae) seeds within the terrestrial bromeliad *Neoregelia cruenta*. *Biotropica.*, 25: 359-362.
- Garbin, M.L., Carrijo, T.T., Sansevero, J.B.B., Sánchez-Tapia, A., Scarano, F.R. (2012). Subordinate, not dominant, woody species promote the diversity of climbing plants. *Perspectives in Plant Ecology Evolution & Systematics.*, 14: 257–265.
- Gleason, H.A. (1922). On the relation between species and area. *Ecology.*, 3: 158-162.
- Hay, J.V. Lacerda, L.D. (1980). Alterações nas características do solo após fixação de *Neoregelia cruenta* (R. Gran) L. Smith (Bromeliaceae), em um ecossistema de restinga. *Ciência e Cultura.*, 32: 863-867.
- Horn, H.S. (1966) Measurement of "overlap" in comparative ecological studies. *The American Naturalist.*, 914:424
- IEMA - Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Plano de Manejo da APA de Conceição da Barra, 2014. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/GRN/20150508_Volume_I_ResumoExecutivo.pdf> Acesso em 10 de janeiro de 2022.
- INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural. 2020. Coordenação de Meteorologia. Disponível em: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br>. Acesso em 15 de setembro de 2022.
- Kikvidze, Z., Michalet, R., Brooker, R.W., *et al.* (2011). Climatic drivers of plant–plant interactions and diversity in alpine communities. *Alpine Botany.*, 121: 63-70.
- Liancourt, P. Dolezal, J. (2021). Community-scale effects and strain: Facilitation beyond conspicuous patterns. *Journal Ecology.*, 109: 19-25.

- Lorenzi, H. Souza, H.M. (2001). Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum 1120p.
- Lucas, D.S., Oliveira, D.M.P., Carvalho, E.C.D., Soares, A.A., Zandavali, R.B. (2021). Evidence of facilitation between early-successional tree species and the regenerating plant community in a tropical seasonally dry environment. *Austral Ecology.*, 47: 541-556.
- Macedo, M.V. Monteiro, R.F. (1987). Germinação e desenvolvimento de plântulas em tanques de *Neoregelia cruenta* (Bromeliaceae) na restinga de Barra de Maricá, RJ. *Anais do Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileiro.*, 2: 188-190.
- Maestre, F.T. Cortina, J. (2005). Remnant shrubs in Mediterranean semi-arid steppes: Effects of shrub size abiotic factors and species identity on understory richness and occurrence. *Acta Oecologica.*, 27: 161-169.
- Martinez, M.L. (2003). Facilitation of seedling establishment by an endemic shrub in tropical coastal s& dunes. *Plant Ecology.*, 168: 333–345.
- McIntire, E.J.B. Fajardo, A. (2014). Facilitation as a ubiquitous driver of biodiversity. *New Phytologist.*, 20: 403-416.
- Menezes, L.F.T. Araujo, D.S.D. (2005). Formações vegetais da restinga de Marambaia - RJ. In: Menezes LFT. Peixoto A. Araujo DSD. (Ed.). História Natural da Marambaia. Seropédica: EDUR. p. 67-120.
- Menezes, L.F.T. Pugnaire, F.I., Matallana, G., Nettesheim, F.C., Carvalho, D.C. Mattos, E.A. (2018). Disentangling plant establishment in sandy coastal systems: biotic and abiotic factors that determine *Allagoptera arenaria* (Arecaceae) germination. *Acta Botanica Brasilica.*, 32: 12-19.
- O'Brien, M.J., Menezes, M.J., Brathen, L.T., Losapio, G.K.A., Pugnaire, F.I. (2019). Facilitation mediates species presence beyond their environmental optimum. Perspectives in Plant Ecology. *Evolution and Systematics.*, 38: 24-30.
- Pugnaire, F.I., Haase, P., Puigdefabregas, J. (1996). Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology.*, 77: 1420-1426.

- Ribas, L.A. (1992). Análise da estrutura e composição específica das comunidades vegetais de moitas de restinga em Maricá - RJ. Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciências Biológicas/ Departamento de Ecologia Universidade de Brasília Distrito Federal.
- Rocha, F.S., Duarte, L.S., Waechter, J.L. (2015). Positive association between *Bromelia balansae* (Bromeliaceae) and tree seedlings on rocky outcrops of Atlantic Forest. *Journal Tropical Ecology* 31: 195-198.
- Scarano, F.R. (2002). Structure, Function and Floristic Relationships of Plant Communities in Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest. *Annals of Botany* 9: 517-524.
- Shumway, S.W. (2000). Facilitative effects of a s& dune shrub on species growing beneath the shrub canopy. *Oecologia.*, 124: 138-148.
- Souza, R.C., Pereira, M.G., Menezes, L.F.T., Filho, T.B.S., Silva, A.N. (2016). Role of Terrestrial Bromeliads in Nutrient Cycling, Restinga da Marambaia, Brazil. *FLORAM - Revista Floresta e Ambiente.*, 23: 161-169.
- Tsuda, E.T. Castellani, T.T. (2016). *Vriesea friburgensis*: A natural trap or a nurse plant in coastal sand dunes?. *Austral Ecology.*, 41: 273-281.
- Valiente-Banuet, A. Verdú, M. (2013). Plant Facilitation and Phylogenetics. *Annual Review of Ecology. Evolution. and Systematics.*, 44: 347-366.
- Yarranton, G.A. Morrison, R.G. (1974). Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. *Journal of Ecology.*, 622: 417-428.
- Zaluar, H.L.T. Scarano, F.R. (2000). Facilitação em restingas de moitas: Um século de buscas por espécies focais In: Esteves FA. Lacerda LD (eds.) Restingas: Origem. Estrutura e Processos. Macaé (RJ): NUPEM/UFRJ.

CAPÍTULO III – Influência da bromélia *Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B.Sm no desempenho de mudas arbustivas em uma área de restinga em processo de restauração no Sudeste Brasileiro

Resumo

A intensa fragmentação de ambientes naturais no sudeste brasileiro, incluindo os ecossistemas de restinga, devido às atividades humanas, resultou na redução drástica das áreas naturais. A recuperação desses ecossistemas é complexa devido à baixa resiliência do ambiente, exigindo diferentes estratégias de restauração. Uma estratégia eficaz é o uso de interações positivas, como a utilização de espécies facilitadoras em plantios, que podem amenizar fatores ambientais extremos, como luz, temperatura e umidade, promovendo um melhor crescimento e sobrevivência das espécies vegetais e, conseqüentemente, a restauração de áreas degradadas. O objetivo deste estudo foi testar experimentalmente, por meio de avaliações ecofisiológicas, o efeito da bromélia *Aechmea blanchetiana* como possível facilitadora para as espécies arbustivas *Schinus terebinthifolia*, *Dalbergia ecastophyllum* e *Inga laurina* em um plantio em uma área de domínio da floresta alta de restinga. As hipóteses levantadas foram as seguintes: (1) A presença de *A. blanchetiana* influencia positivamente na sobrevivência e crescimento das espécies arbustivas; (2) A presença de *A. blanchetiana* influencia positivamente nos parâmetros fisiológicos das espécies arbustivas; (3) As condições ambientais são amenizadas com a presença da *A. blanchetiana*. Para testar essas hipóteses, um plantio foi realizado contendo dois tratamentos: com e sem *A. blanchetiana*, utilizando a bromélia e as três espécies arbustivas. Foram realizadas medições morfológicas, fisiológicas e de parâmetros ambientais ao longo de 28 meses, e os resultados foram comparados entre os tratamentos. Ao final do experimento, observou-se que a presença da *A. blanchetiana* não teve um impacto positivo na sobrevivência das três espécies arbustivas. No entanto, ela influenciou os parâmetros morfológicos e fisiológicos, melhorando principalmente o crescimento dos indivíduos de *D. ecastophyllum* e *I. laurina*, com um aumento na biomassa ao final do experimento. Os indivíduos que estavam na presença da bromélia apresentaram uma redução do

estresse fisiológico, com valores mais altos dos parâmetros $\phi P0$, RC/CS₀ e PI/abs e valores mais baixos de $\phi D0$, o que pode estar ligado a diminuição da temperatura e da intensidade luminosa por conta da presença da bromélia. Essa melhoria pode estar relacionada à redução da temperatura e da intensidade luminosa devido à presença da bromélia. Portanto, os resultados deste estudo têm implicações diretas para projetos de restauração de áreas de restinga, onde o uso de uma espécie facilitadora, como a bromélia *A. blanchetiana*, pode ser considerado uma metodologia eficaz.

Introdução

A sucessão ecológica desempenha um papel importante na formação e modificação da vegetação de uma comunidade, e diferentes modelos, como facilitação, tolerância e inibição, são utilizados para explicar esses processos, dependendo das condições do ambiente. A facilitação ocorre quando uma vegetação inicial modifica o ambiente de forma a favorecer o estabelecimento de outras espécies, resultando no desenvolvimento de uma vegetação tardia (Connell & Slatyer, 1977).

A presença de indivíduos facilitadores pode alterar os fatores abióticos do ambiente (Pugnaire *et al.*, 2011; Navarro-Cano *et al.*, 2015; Abiyu *et al.*, 2017; Teutli-Hernandez *et al.*, 2019), tornando-o mais favorável para a germinação (Fedriani *et al.*, 2019), sobrevivência e crescimento das espécies vegetais (Urretavizcaya & Defosse, 2013; Encino-Ruiz *et al.*, 2013; Dominguez *et al.*, 2015; Torroba-Balmori *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2017). Esses efeitos têm sido observados em diferentes ecossistemas, especialmente em ambientes com condições ambientais adversas (Pugnaire *et al.*, 1996; Callaway & Walker, 1997; Mendoza-Hernandez *et al.*, 2013; Liancourt & Dolezal, 2021). Nas restingas, por exemplo, interações positivas têm sido registradas em diversas espécies, incluindo arbustos/árvores (Castanho *et al.*, 2012), palmeiras (Menezes & Araújo, 1999; Carvalho *et al.*, 2014) e bromélias (Hay *et al.*, 1981; Zaluar & Scarano, 2000; Tsuda & Castellani, 2016).

Devido aos impactos antropogênicos recorrentes nas restingas, especialmente no sudeste brasileiro (Rambaldi & Oliveira, 2003; Tabarelli *et al.*, 2005), ocorre uma intensa

fragmentação e perda de habitat, resultantes da especulação imobiliária, incêndios criminosos, expansão agrícola e extração comercial de areia (Scherer *et al.*, 2005) e extração de areia para fins comerciais (Tebaldi *et al.*, 2013; Vieira & Rezende, 2015; Garbin *et al.*, 2018). Essa fragmentação, aliada à falta de políticas efetivas de conservação (Scarano, 2009), resulta em lacunas de informações sobre essas áreas, com poucos dados sobre desmatamento e restauração (Garbin *et al.*, 2018). Considerando a alta diversidade biológica e a baixa resiliência das restingas (Thomazi *et al.*, 2013), devido a fatores ambientais como limitação de nutrientes, alta radiação solar, baixa disponibilidade de água no solo e exposição ao vento principalmente por fatores ambientais como a limitação de nutrientes, alta radiação, baixa disponibilidade de água no solo e exposição ao vento (Shumway, 2000), é crucial preservar e restaurar esses ecossistemas (Zamith & Scarano, 2006).

Para promover condições favoráveis ao processo de recuperação e restauração de ambientes, é fundamental utilizar técnicas adequadas a cada contexto (Dias *et al.*, 2014). Entre essas técnicas, a adição de espécies facilitadoras tem se mostrado eficaz em promover mudanças positivas na comunidade e no ecossistema (Navarro-Cano *et al.*, 2015; Abiyu *et al.*, 2017).

Com base nos resultados encontrados no segundo capítulo desta tese, que demonstraram o papel facilitador da bromélia *Aechmea blanchetiana* em um ambiente natural, e em estudos anteriores que mencionaram mecanismos de facilitação em espécies da família Bromeliaceae, propomos as seguintes hipóteses: (1) *Aechmea blanchetiana* influencia positivamente na sobrevivência das espécies arbustivas; (2) *Aechmea blanchetiana* influencia positivamente no crescimento das espécies arbustivas; (3) *Aechmea blanchetiana* influencia positivamente nos atributos funcionais das espécies arbustivas; (4) *Aechmea blanchetiana* ameniza as condições ambientais do meio.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado em uma área de mineração de areia o município de São Mateus, Espírito Santo ($18^{\circ} 57' 11.7''$ S $39^{\circ} 50' 26.7''$ W). ssa área é classificada como uma restinga pleistocênica, composta por sedimentos de natureza diversa (Suguió et al., 1982), e é caracterizada como uma floresta alta de restinga (Menezes & Araújo, 2005). O clima na região é classificado como quente e úmido (tipo Aw de Koppen), com uma estação seca durante o outono-inverno e uma estação chuvosa na primavera-verão (Panoso *et al.*, 1978).

O experimento foi conduzido em uma duna artificial de areia, resultante da extração comercial de areia, com uma inclinação de cinco metros e uma largura de aproximadamente 12 metros (Figura 1: A).

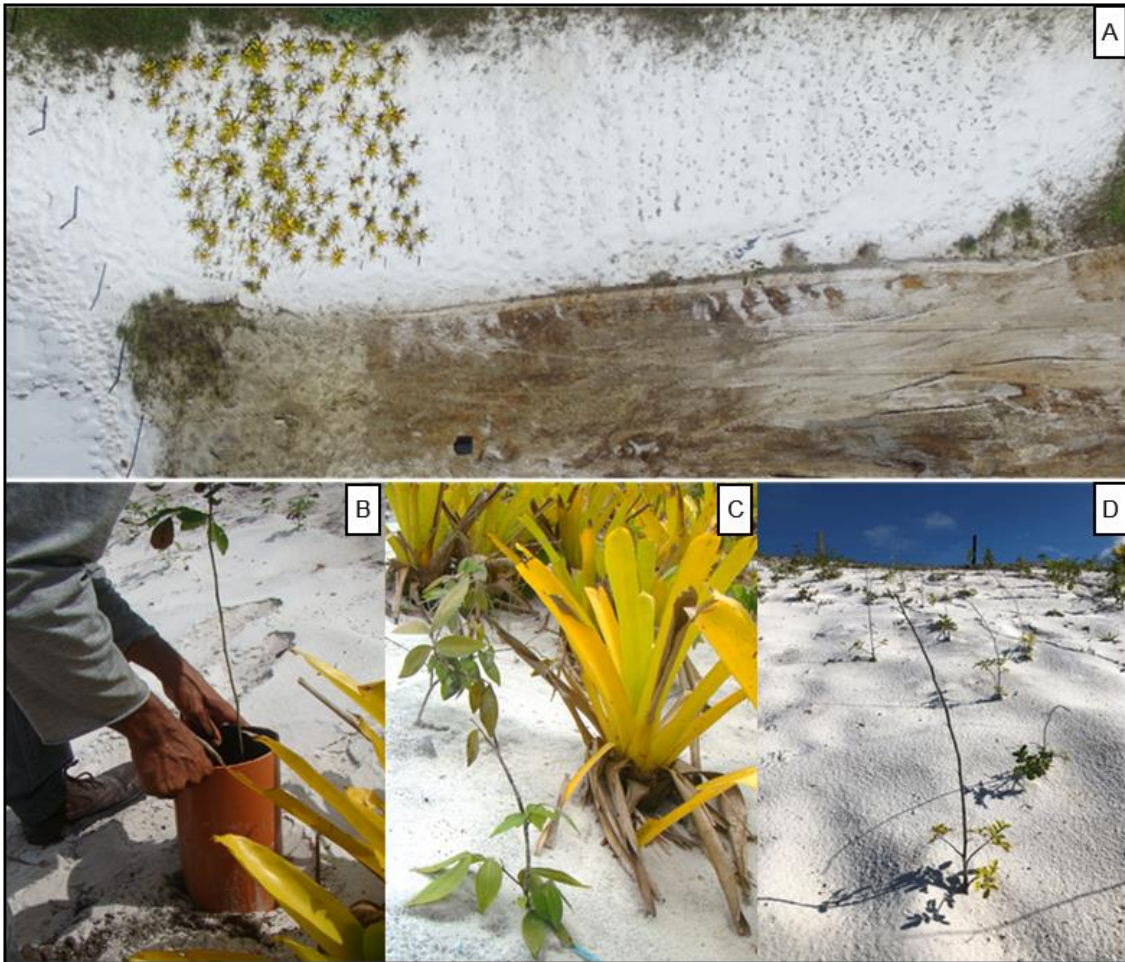


Figura 1 – Plantio das espécies arbustivas com e sem *Aechmea blanchetiana* em uma área de mineração de areia em São Mateus/ES. A – Visão panorâmica do plantio. B – Metodologia utilizada para o plantio das mudas. C – Plantio com espécies arbustivas no tratamento com *A. blanchetiana*. D – Plantio de espécies arbustivas no tratamento sem *A. blanchetiana*.

Espécies-alvo

Para o plantio, foram selecionadas a espécie facilitadora *A. blanchetiana* e três espécies arbustivas: *Dalbergia ecastophyllum* (L.) Taub., *Schinus terebinthifolia* Raddi e *Inga laurina* (Sw.) Willd. A escolha dessas espécies foi baseada em um levantamento florístico prévio nas áreas de estudo, revisão da literatura e consulta a viveiros locais para verificar a disponibilidade e qualidade das mudas.

***Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B.Sm**

Aechmea blanchetiana (Bromeliaceae) (Figura 2: A), conhecida popularmente como bromélia de Porto Seguro, é uma espécie nativa do Brasil e endêmica do bioma Mata Atlântica, ocorrendo nos estados da Bahia e Espírito Santo, principalmente em restingas (CNCFlora, 2012). Os indivíduos têm hábito herbáceo e formam touceiras em áreas com alta disponibilidade de matéria orgânica, tanto a pleno sol quanto em meia-sombra. Suas folhas são longas, rijas, côncavas, basais, de cor verde clara e sem espinhos, com hastes amareladas e altura de 60 a 90 cm. Essa espécie é considerada ornamental devido à sua aparência.

***Dalbergia ecastophyllum* (L.) Taub.**

Dalbergia ecastophyllum (Fabaceae) (Figura 2: B), conhecida popularmente como rabo-de-bugio ou marmelo-do-mangue, possui ampla distribuição e ocorre em estuários, manguezais e restingas. Os indivíduos têm hábito arbustivo e podem ser escandentes ou semiprostrados. Essa espécie desempenha um papel importante na fixação de areia em áreas de dunas (Carvalho, 1997).

***Inga laurina* (Sw.) Willd**

Inga laurina (Fabaceae) (Figura 2: C), conhecida popularmente como ingá-mirim, possui ampla distribuição e ocorre em diversos ecossistemas, incluindo restingas (Garcia & Bonadeu, 2020). Os indivíduos têm hábito arbóreo e são valorizados tanto pela sua beleza ornamental quanto pelo seu valor florestal (Souza & Lorenzi, 2005).

***Schinus terebinthifolia* Raddi**

Schinus terebinthifolia (Anacardiaceae) (Figura 2: D), conhecida popularmente como aroeira-da-praia, aroeira-vermelha, pimenta-rosa, entre outros nomes, é uma

espécie terrícola que ocorre em uma ampla distribuição geográfica, incluindo áreas de restinga (Silva-Luz *et al.*, 2022). Essa espécie apresenta forma de vida arbusto/árvore e é valorizada por sua beleza ornamental, com folhas compostas, copa larga, flores pequenas e frutos do tipo drupa aromática (Lorenzi & Matos, 2008). Além disso, sua madeira tem valor econômico e é utilizada para diferentes fins, como moirões, esteios, lenha e carvão (Lorenzi, 1998).

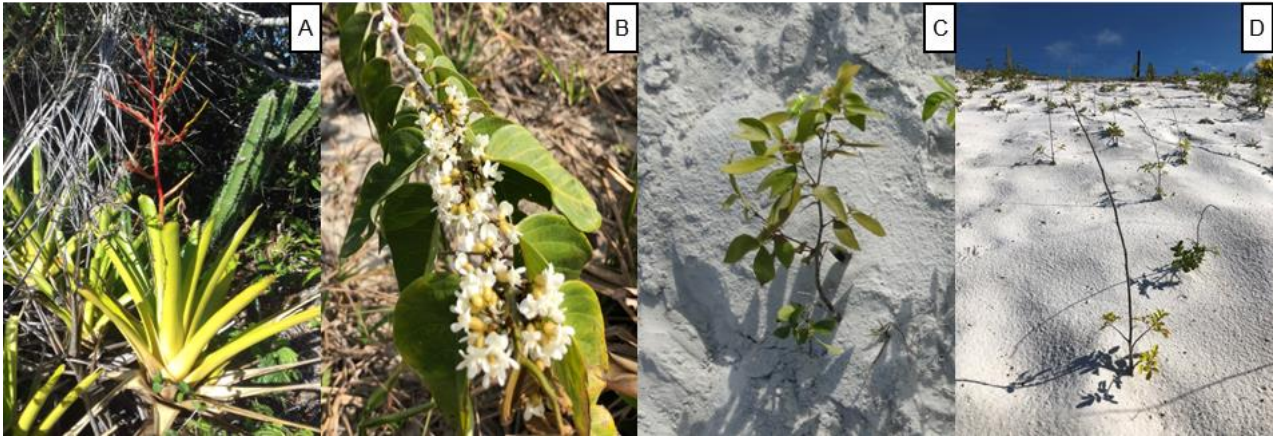


Figura 2 - Espécies-alvo utilizadas no plantio. A – Bromélia *Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B.Sm; B – Espécie *Dalbergia ecastophyllum* (L.) Taub.; C – Espécie *laurina* (Sw.) Willd; D – Espécie *Schinus terebinthifolia* Rad.

Metodologia do Plantio

O plantio realizado em junho de 2018 foi realizado com dois tratamentos: um com a presença da espécie *A. blanchetiana* e outro sem essa espécie. Foi adotado o método de núcleos de Anderson, no qual cada núcleo consistia em uma muda central cercada por quatro mudas nas bordas, com espaçamento de 0,5 × 0,5 m (Figura 3) (Reis *et al.*, 2003). No tratamento com a adição de *A. blanchetiana*, foram realizadas 38 nucleações contendo um total de 152 mudas arbustivas. Cada núcleo foi formado por uma muda central da bromélia e quatro mudas da mesma espécie arbustiva ao redor da bromélia (Figura 1: C). No tratamento sem a *A. blanchetiana*, foram realizadas 30 nucleações com um total de 150 mudas, sendo adicionados indivíduos da mesma espécie arbustiva no centro do núcleo em substituição à bromélia (Figura 1: D). As

mudas foram adquiridas em viveiros da região e apresentavam a mesma idade, altura e diâmetro médio, sem diferenças estatísticas.

Para a abertura dos berços de plantio, devido ao solo ser arenoso e à inclinação do terreno, foram utilizados canos com 100 mm de diâmetro e 50 cm de altura, com as pontas serradas para facilitar sua inserção na areia. Esses canos foram afundados a uma profundidade de 30 cm, determinando a profundidade da cova (Figura 1: B). Com o auxílio de uma cavadeira, a areia foi retirada e as mudas foram inseridas. Posteriormente, os canos foram removidos e as covas foram preenchidas com areia.

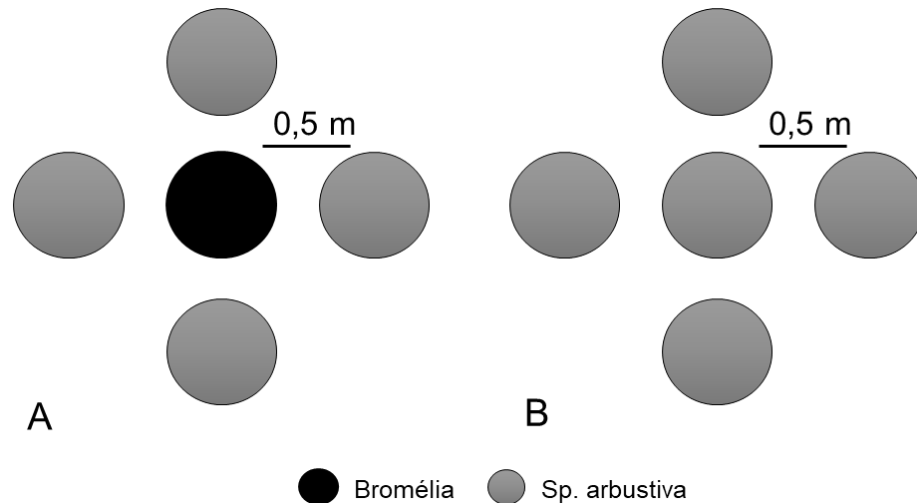


Figura 3 - Modelo do plantio de nucleação de Anderson. A – Modelo utilizado no tratamento com *Aechmea blanchetiana*; B – Modelo utilizado no tratamento sem *A. blanchetiana*.

Amostragem

Foram realizadas cinco avaliações em campo entre dezembro de 2018 a setembro de 2020, sendo a primeira sendo seis meses após o plantio, a segunda em março de 2019 e as demais realizadas a cada seis meses. Durante essas avaliações, foram coletados os seguintes dados: mortalidade, altura total (medida com fita métrica, do colo até o ápice esticado ao máximo), diâmetro na altura da base (DAB) (medido com

paquímetro), atributos foliares e caracterização fisiológica. O DAB foi utilizado para calcular a área basal de cada indivíduo, usando a fórmula $r = \text{DAB}/2 \times 3,14$ (valor de "pi").

Atributos foliares

Os atributos foliares massa foliar por área foliar em g m⁻² (MFA), suculência em g m⁻² (SUC), o conteúdo relativo de água (CRA), a esclerofilia foliar (ESCLE), área foliar específica (AFE) e a espessura foliar (ESP) foram calculados a partir de análises em laboratório. Coletas ao acaso de três folhas totalmente expandidas e intactas, escolhidas aleatoriamente de 15 indivíduos de cada espécie, por tratamento (com e sem *A. blanchetiana*) foram realizadas em campos, onde as folhas foram retiradas a partir da base do pecíolo, e em folhas compostas, os folíolos foram considerados folhas para esse estudo. O material coletado foi acondicionado em caixas térmicas com gelo seco e levadas para análises, onde no laboratório foram extraídos três discos foliares de cada folha, com aproximadamente 6 mm de diâmetro, de cada indivíduo. Os discos foram pesados com o auxílio de uma balança eletrônica digital para obter a massa fresca (MF), e depois dispostos em placas de *petri* e hidratados com água destilada por um período de 24 h, e novamente pesados para se obter a massa túrgida (MT). Utilizando um paquímetro digital foi aferido a espessura das três amostras por indivíduo, e por fim os discos foram ensacados e levados a estufa por uma temperatura de 60 °C até ser obtido peso constante, sendo considerado a massa foliar seca (MS). Posteriormente, foram calculados os atributos: massa foliar por área foliar em g m⁻² (MFA) estimada pela razão entre a massa seca (MS) e a área foliar (Kluge & Ting, 1978); a suculência em g m⁻² (SUC) calculado pela diferença entre a massa túrgida (MT) e a massa seca (MS) em razão da área dos discos foliares (Kluge & Ting, 1978); o conteúdo relativo de água (CRA) calculado pela fórmula: $\text{CRA} = [(\text{MF}-\text{MS}) / (\text{MT}-\text{MS})] \times 100$ e expresso em porcentagem (%) (Barrs & Weatherley, 1962); a área foliar específica (AFE) em cm²/g calculado pela divisão da área foliar pela massa seca (Bennicasa, 2003); a esclerofilia foliar (ESCLE) em g m² calculado pela divisão da

massa seca pela área foliar; e a espessura foliar (ESP) calculada a partir da média da espessura (mm) dos três discos foliares, mensurados com um paquímetro digital.

Atributos foliares fisiológicos

A caracterização fisiológica foi realizada em campo, medindo-se a cinética da fluorescência transiente da clorofila *a*. Foram selecionadas folhas jovens e totalmente expandidas, uma por indivíduo, e aclimatadas ao escuro por 30 minutos utilizando cliques foliares (Figura 4: C). As medidas foram feitas entre 06:00 e 09:00 da manhã, usando um fluorômetro portátil *Handy-PEA*, Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK (Figura 4: A-B). Os dados foram posteriormente analisados e os parâmetros do teste JIP foram calculados utilizando o *software* Biolyzer. Os parâmetros avaliados foram $\phi P0$ (rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária), $\phi D0$ (rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor), RC/CSo (centros de reação redutores de QA ativos por seção transversal no FSII) e PI/ABS (índice de desempenho 'potencial' para conservação de energia desde éxciton capturados até a redução dos aceptores de elétrons do inter-sistema).

Análises fisiológicas OJIP

Aos 28 meses após o plantio foi mensurado a fluorescência transiente da clorofila *a* (Figura 4) durante um dia em cinco horários (05:00h, 08:00h, 12:00h, 15:00h e 18:00h). Com os dados obtidos, foram construídos gráficos das bandas K e L das curvas OJIP no *Excel*. No *Excel* foram construídas as bandas K ($VOJ [\Delta OJ = V0J (CB) - V0J (SB)]$) e as bandas L ($VOK [\Delta V0K = V0K (CB) - V0K (SB)]$) dos indivíduos oriundos dos tratamentos com e sem a bromélia *A. blanchetiana*, considerando às cinco avaliações.

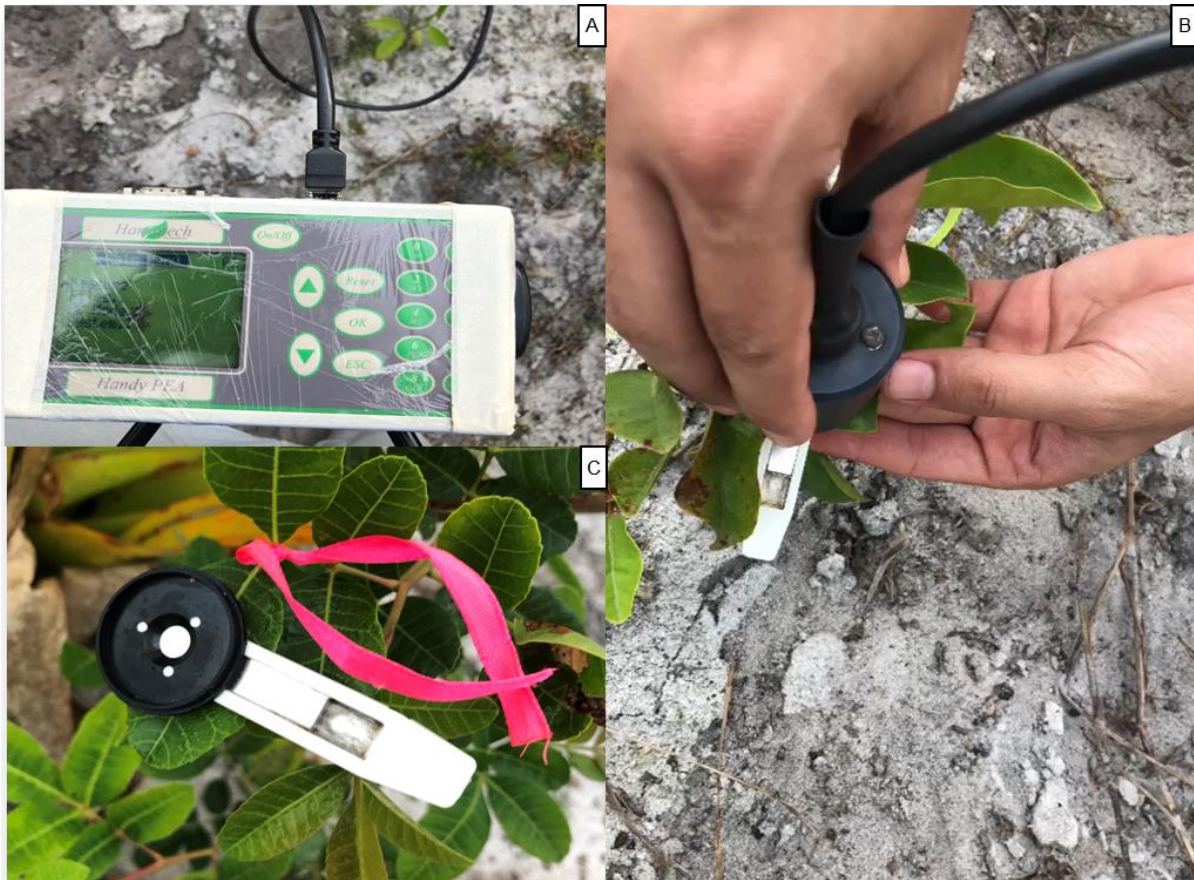


Figura 4 - Análises fisiológicas dos atributos foliares utilizando o equipamento fluorômetro portátil *Handy-PEA*, Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK). A – Equipamento fluorômetro portátil *Handy-PEA*; B – Medição realizada em campo; C – Clipes foliares utilizados para aclimatar ao escuro as folhas dos indivíduos plantados.

Biomassa

A biomassa foi mensurada para cada espécie em nove indivíduos por tratamento (com e sem *A. blanchetiana*) em cada uma das três avaliações. As coletas foram realizadas aos seis meses de plantio, aos 16 meses e ao final das avaliações, aos 28 meses após o plantio. Para a mensuração da biomassa, os indivíduos foram coletados, ensacados e levados à estufa a uma temperatura de 70 °C até atingirem peso constante. O peso da matéria seca de cada indivíduo foi mensurado separadamente

para raiz, caule e folha, sendo a soma dessas partes indicativa do peso total (biomassa total).

Parâmetros ambientais

Parâmetros ambientais como umidade relativa do ar, temperatura do solo e a intensidade luminosa foram mensurados ao longo de um dia, das 5h às 19h, utilizando 18 equipamentos *datalogger* modelo *Hobo* nos tratamentos com e sem *A. blanchetiana*. Os equipamentos foram colocados abaixo dos indivíduos arbustivos (na areia), independente do tratamento. Os dados foram extraídos com o auxílio do programa *Hoboware* e gráficos foram construídos no Excel para cada parâmetro avaliado nos dois tratamentos.

Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas no programa *Rstudio* 4.1 (versão 2021). Para comparar os tratamentos com e sem *A. blanchetiana*, foi utilizada a análise de variância *One-way* de medidas repetidas para os parâmetros morfológicos, fisiológicos e ambientais. Para as análises de altura e diâmetro foram utilizadas somente os indivíduos sobreviventes ao final dos experimentos, onde os dados foram testados quanto à normalidade e quando necessário realizado a transformação. Os resultados dos parâmetros altura, diâmetro e as análises fisiológicas foram representados por *boxplots*, sendo apresentado a diferença (representada por asteriscos) ou não (representado por N_S.) entre os dois tratamentos por avaliação (ao lado direito dos gráficos).

No caso do parâmetro biomassa, foram comparados os tratamentos e as avaliações. Todas as médias foram comparadas entre si, e os resultados das diferenças ou não foram representados nos *boxplots* por letras minúsculas (por exemplo, a, b, c).

Resultados

As espécies avaliadas apresentaram peculiaridades no crescimento, com resultados distintos em diversos parâmetros. Desta forma os dados analisados foram apresentados separadamente por espécie.

Dalbergia ecastophyllum

Seis meses após o plantio já foi observado uma sobrevivência acima de 80% no plantio, mas essa taxa diminuiu abaixo de 80% aos 28 meses. Quando os dados foram comparados entre os indivíduos plantados com e sem *A. blanchetiana* não pode ser observado diferenças estatísticas ($p < 0,05$) (Figura 5).

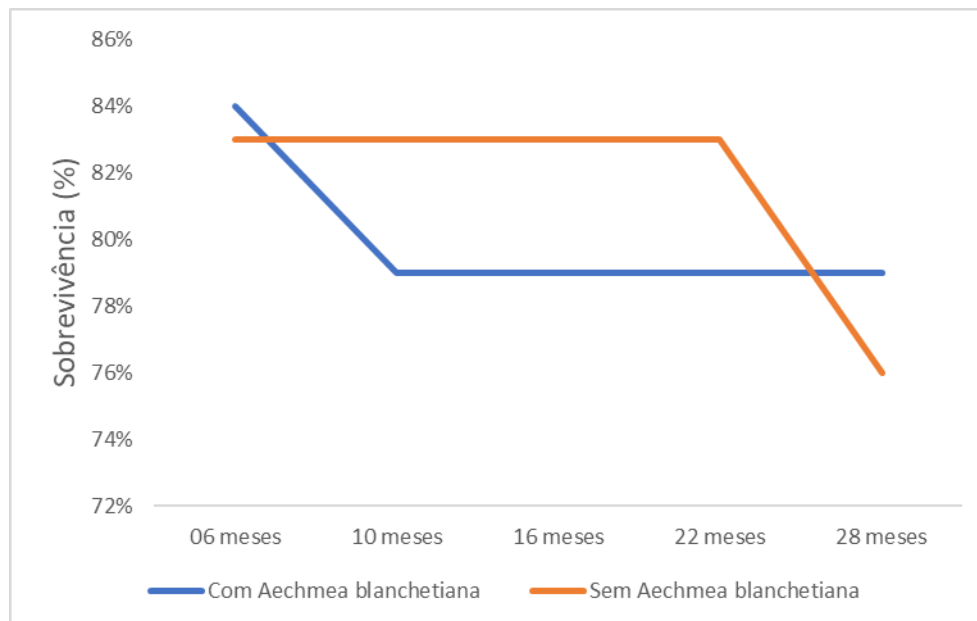


Figura 5 - Sobrevivência dos indivíduos de *Dalbergia ecastophyllum* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em cinco avaliações (06 meses após o plantio, 10 meses após o plantio, 16 meses após o plantio, 22 meses após o plantio e 28 meses após o plantio).

Os resultados da análise morfológica revelaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos com e sem *A. blanchetiana*. No parâmetro altura, foram observadas diferenças significativas em todas as cinco avaliações, com valores maiores para os indivíduos plantados com *A. blanchetiana* (Figura 6: A). Isso indica que a presença da bromélia *A. blanchetiana* teve um efeito positivo no crescimento em altura das plantas de *D. ecastophyllum*.

Quanto ao parâmetro área basal, foram encontradas diferenças significativas apenas nas avaliações aos 6 meses e 28 meses (Figura 6: B), novamente com valores maiores para os indivíduos plantados com *A. blanchetiana*. Isso indica que a presença da bromélia também teve um efeito positivo no desenvolvimento da área basal das plantas.

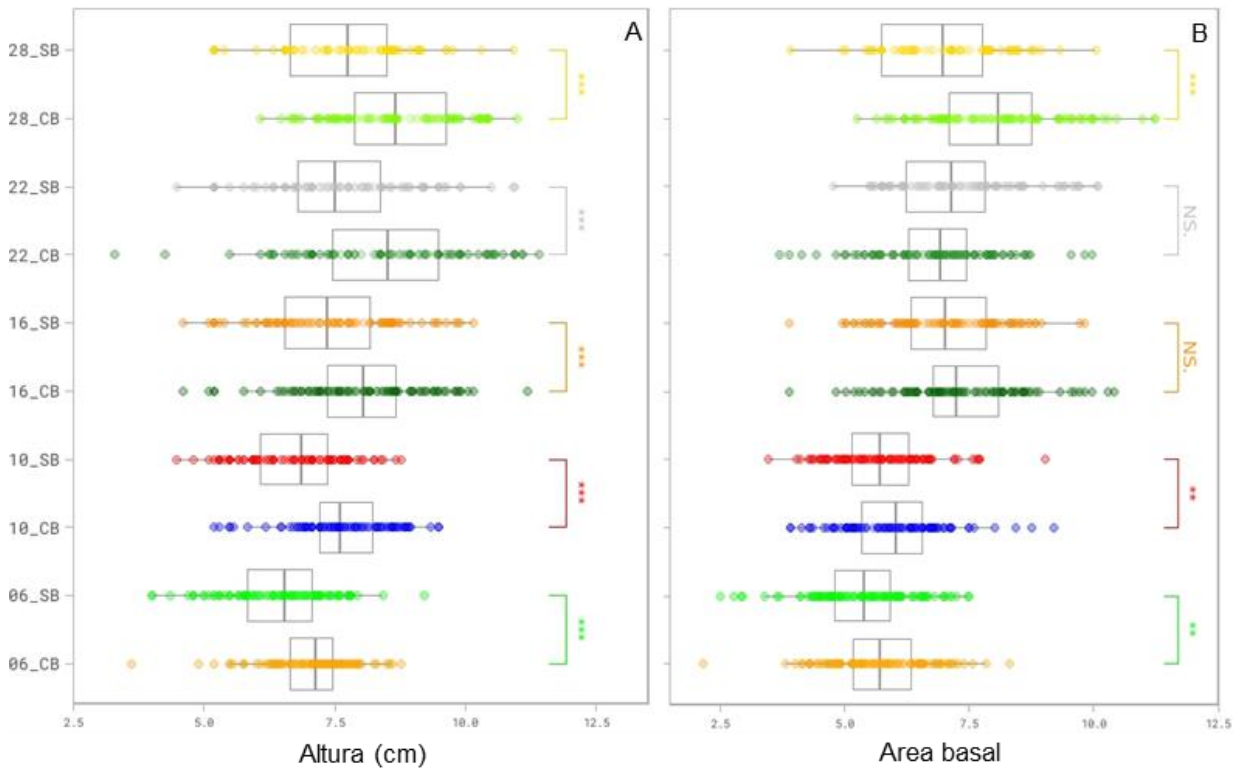


Figura 6 - Parâmetros morfológicas de *Dalbergia ecastophyllum* com e sem *Aechmea blanchetiana* em cinco avaliações. A – Parâmetro Altura; B – Parâmetro Área basal. Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 –

dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, sendo NS. indicando que os tratamentos não diferiram entre si estatisticamente.

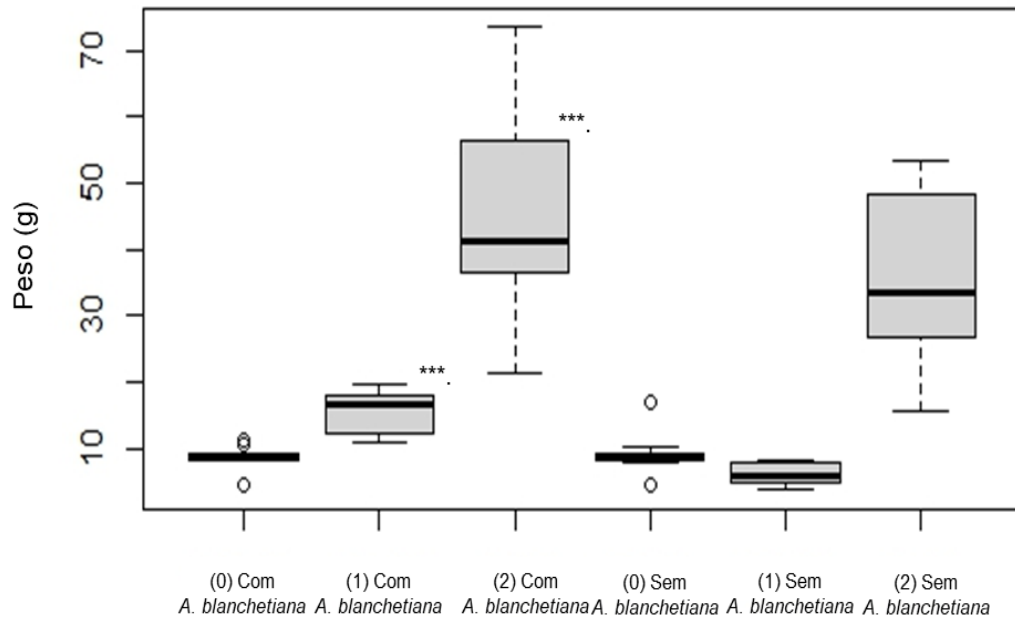


Figura 7 - Relação do peso da massa seca total (biomassa em gramas) dos indivíduos de *Dalbergia ecastophyllum* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em três avaliações (0 – aos seis meses de plantio, 1 – aos 16 meses de plantio e 2 – aos 28 meses de plantio). Os asteriscos acima dos *boxplots* indicam diferença estatística entre os tratamentos com e sem *A. blanchetiana* no mês avaliado.

Ao avaliar os dados de atributos foliares, não foi encontrado uma tendência clara ao longo dos meses para a maioria dos parâmetros. No entanto, aos 28 meses, foram encontradas diferenças estatisticamente significativas em alguns dos parâmetros avaliados.

No parâmetro ESP (espessura foliar), ESC (esclerofilia foliar) e MFA (massa foliar por área foliar), os indivíduos do tratamento com *A. blanchetiana* apresentaram valores maiores em comparação com aqueles sem a bromélia (Figura 8: A, C, D). Isso sugere que a presença de *A. blanchetiana* pode ter influenciado positivamente esses atributos foliares em *D. ecastophyllum*.

Por outro lado, os dados de AFE (área foliar específica), SUC (suculência) e CRA (conteúdo relativo de água) não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos com e sem *A. blanchetiana* (Figura 8: B, E, F).

Na caracterização fisiológica, os resultados indicam diferenças significativas entre os tratamentos. O parâmetro $\phi P0$ (rendimento quântico fotoquímico máximo) apresentou valores maiores em todos os meses no tratamento com *A. blanchetiana* (Figura 9: A), indicando uma maior eficiência da fotossíntese nesses indivíduos. Por outro lado, o parâmetro $\phi D0$ (rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor) mostrou valores menores no tratamento com *A. blanchetiana* (Figura 9: B), sugerindo uma menor dissipação de energia na forma de calor nesses indivíduos.

No parâmetro RC/CS₀ (centros de reação redutores de QA ativos por seção transversal no FSII), foram observadas diferenças entre os tratamentos em diferentes momentos. Em alguns meses (06, 10 e 22 meses), os valores foram maiores no tratamento com *A. blanchetiana*, enquanto em outros meses (16 e 28 meses), os valores foram maiores no tratamento sem a bromélia. Já no parâmetro PI/abs (índice de desempenho 'potencial' para conservação de energia), foram encontrados valores maiores nos indivíduos com *A. blanchetiana* em alguns meses (06, 10, 16 e 22 meses), mas não foram observadas diferenças significativas aos 28 meses (Figura 9: D).

Os resultados do teste *OJIP* indicaram que as bandas K e L foram positivas em todas as avaliações realizadas durante o dia para ambos os tratamentos, com e sem a presença da *A. blanchetiana*. No entanto, foi observado que as bandas do tratamento com *A. blanchetiana* apresentaram menor amplitude em comparação com os indivíduos dos tratamentos sem a presença da bromélia (Figura 10: A, B).

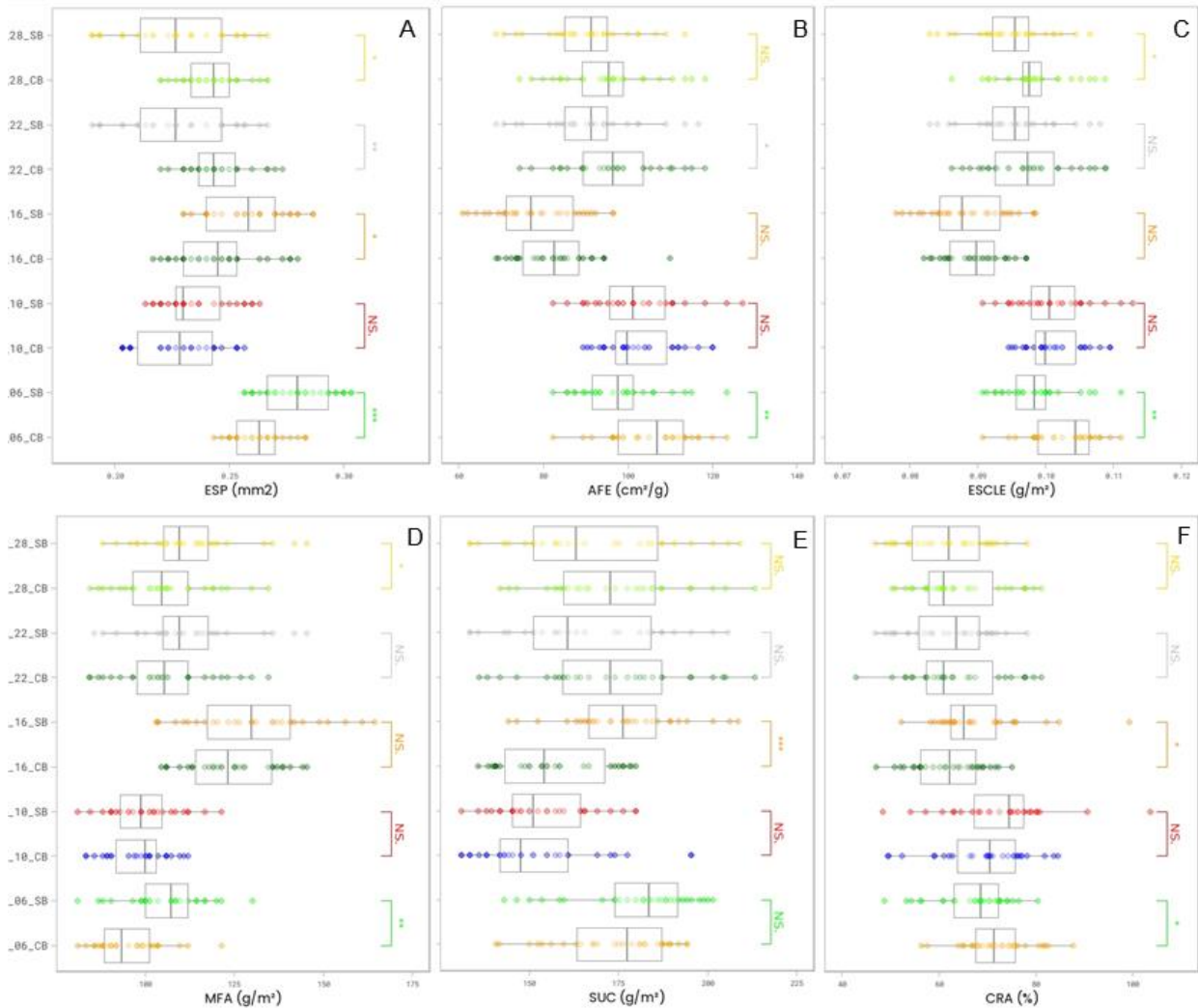


Figura 8 - Variação de atributos foliares de *Dalbergia ecastophyllum* em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A - Espessura foliar (ESP - mm²); B - Área foliar específica (AFE - cm²/g); C - Esclerofilia foliar (ESCL - g/m³); D - Massa foliar específica (AFE - g/cm²); E - Suculência foliar (SUC - g/m²); F - Conteúdo relativo de água (CRA - %). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada

gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, enquanto o NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

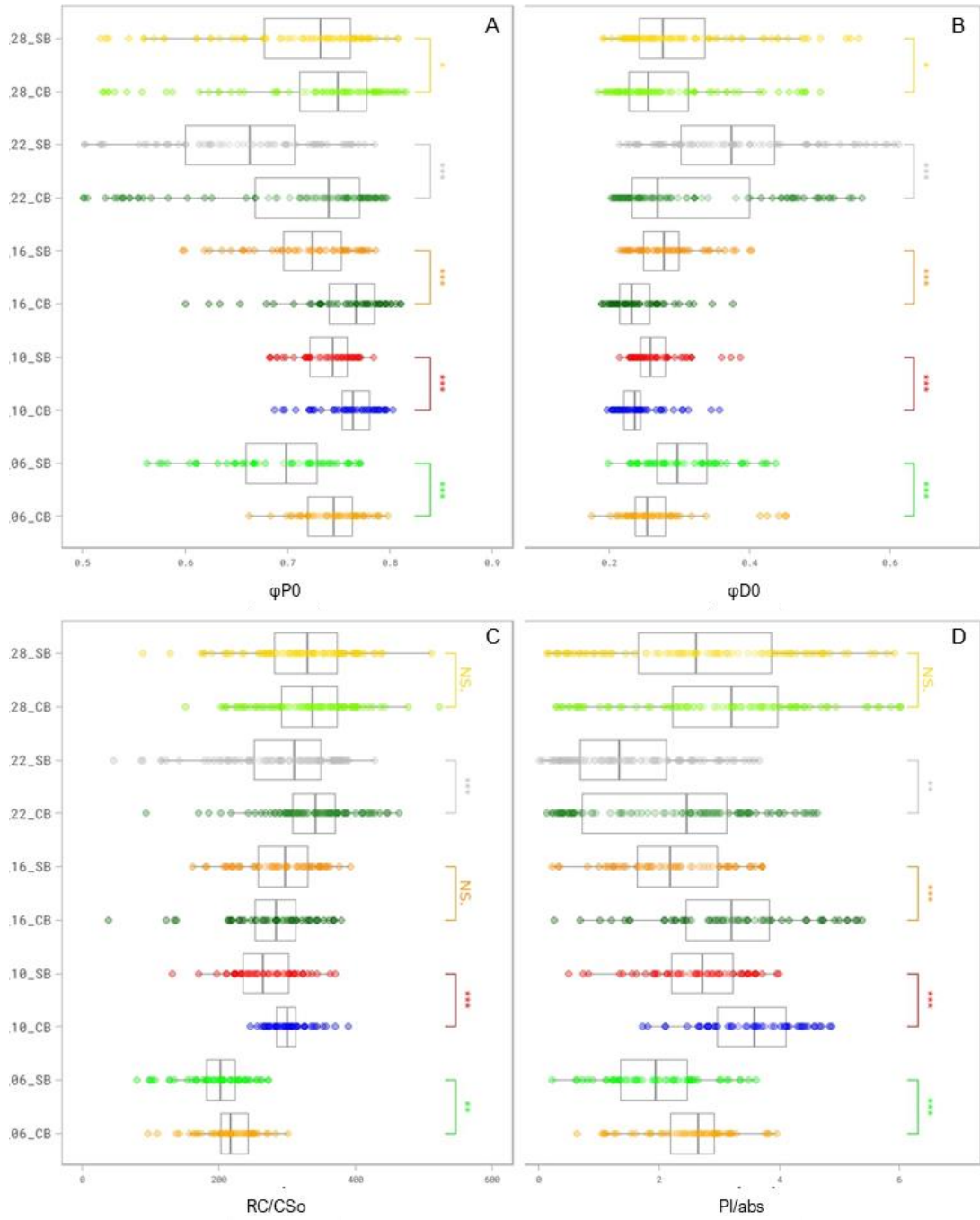


Figura 9 - Variação das análises fisiológicas de *Dalbergia ecastophyllum* em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A

– $\phi P0$ (rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária); B – $\phi D0$ (rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor); C – RC/CSo (centros de reação redutores de QA ativos por seção transversal no FSII); D – PI/abs (índice de desempenho para conservação de energia desde éxcitons capturados até a redução dos aceptores de elétrons do inter-sistema). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*, SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença entre os tratamentos, enquanto NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

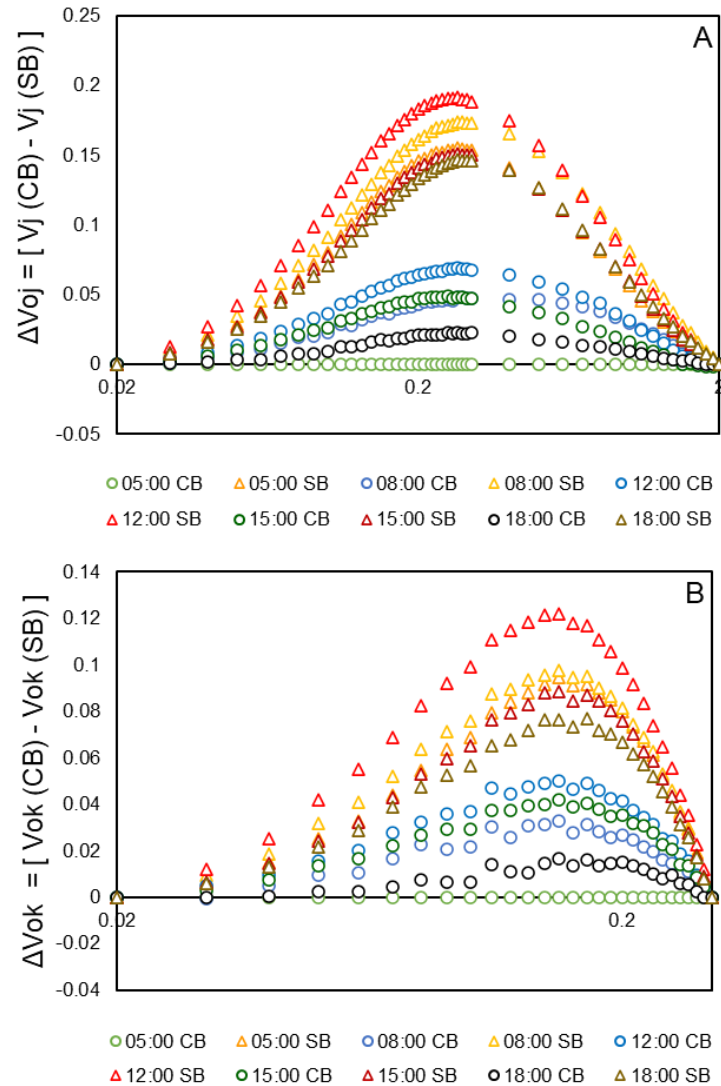


Figura 10 - Análises fisiológicas OJIP em cinco avaliações (05:00h, 08:00h, 12:00h, 15:00h e 18:00h) em indivíduos da espécie *Dalbergia ecastophyllum* plantados com *Aechmea blanchetiana* (CB) e sem *A. blanchetiana* (SB). A- Análise da banda K ($\Delta V_{oj} = [V_j (CB) - V_j (SB)]$). B- Análise da banda L ($\Delta V_{ok} = [V_{ok} (CB) - V_{ok} (SB)]$).

Inga laurina

No caso de *I. laurina*, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas na sobrevivência dos indivíduos plantados com e sem *A. blanchetiana* ($p < 0,05$) ao longo dos meses avaliados (Figura 11). Isso indica que a presença ou

ausência da bromélia não teve impacto estatisticamente significativo na sobrevivência das plantas de *Inga laurina*.

o entanto, observou-se uma influência positiva da presença de *A. blanchetiana* nos parâmetros de altura e área basal. O parâmetro de altura apresentou valores maiores nos meses de 10, 22 e 28 para os indivíduos plantados com *A. blanchetiana* (Figura 12: A). Da mesma forma, a área basal também mostrou valores maiores em todos os meses avaliados para os indivíduos com a bromélia associada (Figura 12: B). Isso indica que a presença de *A. blanchetiana* pode ter contribuído para o crescimento vertical e a expansão da área basal das plantas de *I. laurina*.

Quanto aos resultados de biomassa (Figura 13), foi observado um aumento na massa dos indivíduos plantados com *A. blanchetiana* nos meses de 16 e 28

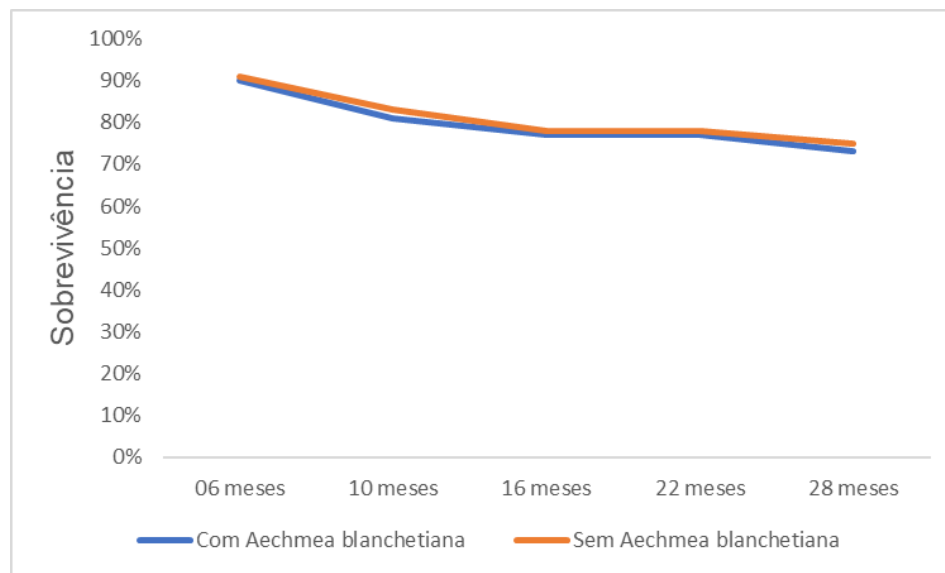


Figura 11 - Sobrevivência dos indivíduos de *Inga laurina* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em cinco avaliações (06 meses após o plantio, 10 meses após o plantio, 16 meses após o plantio, 22 meses após o plantio e 28 meses após o plantio).

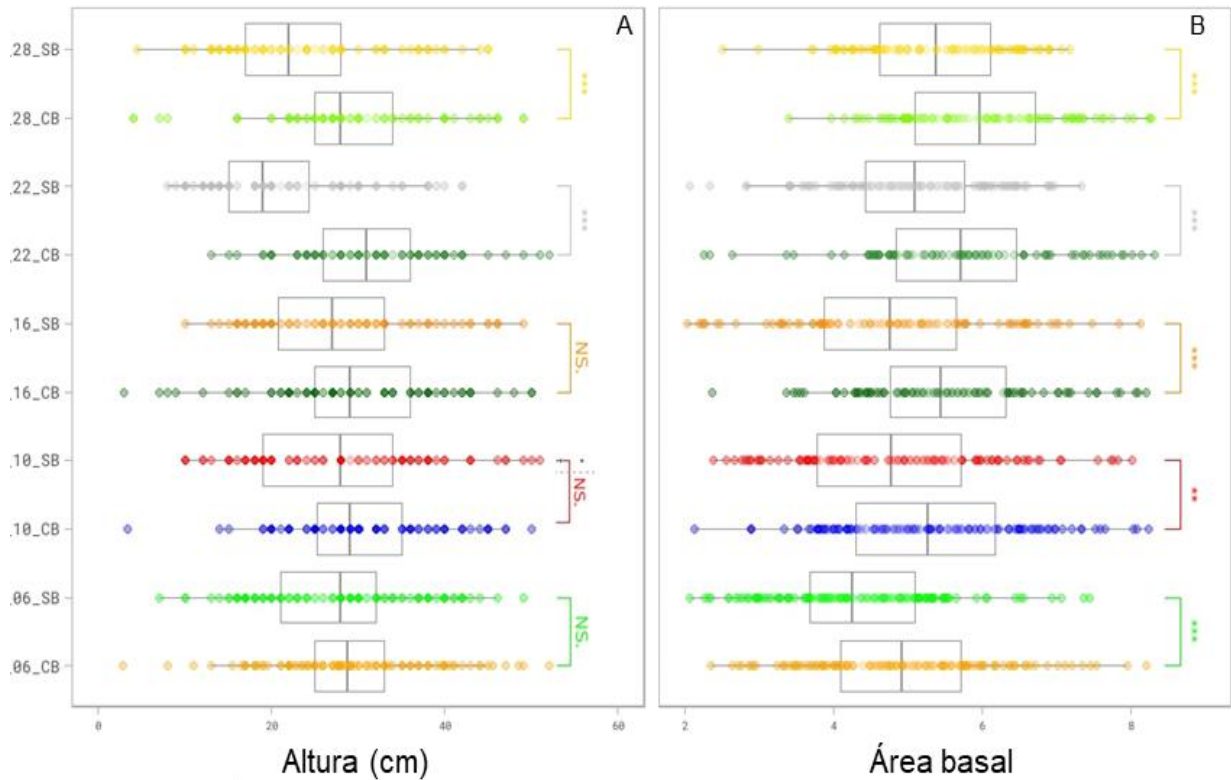


Figura 12 - Parâmetros morfológicas de *Inga laurina*, com e sem *Aechmea blanchetiana* em cinco avaliações. A – Parâmetro Altura; B – Parâmetro Área basal. Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, sendo NS. indicando que os tratamentos não diferiram entre si estatisticamente.

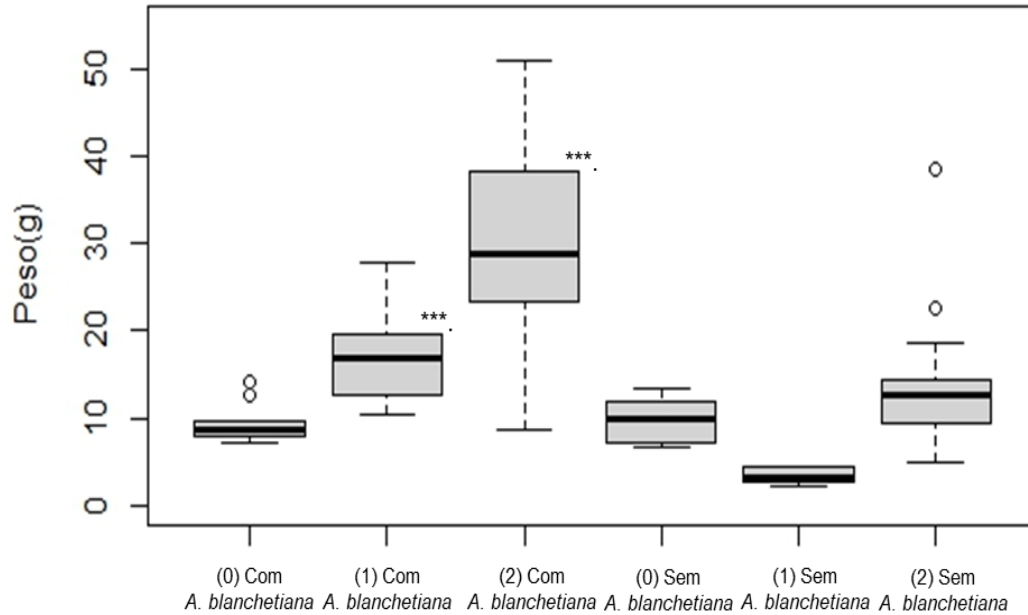


Figura 13 - Relação do peso da massa seca total (biomassa em gramas) dos indivíduos de *Inga laurina* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em três avaliações (0 – aos seis meses de plantio, 1 – aos 16 meses de plantio e 2 – aos 28 meses de plantio). Os asteriscos acima dos *boxplots* indicam diferença estatística entre os tratamentos com e sem *A. blanchetiana* no mês avaliado.

Nos dados de atributos foliares, aos 28 meses, somente os parâmetros ESP e SUC apresentaram valores maiores para o tratamento com *A. blanchetiana* (Figura 14: A, E). Por outro lado os parâmetros MFA, ESC e AFE mostraram diferenças significativas apenas na primeira avaliação, com valores maiores para os indivíduos sem *A. blanchetiana*. Isso sugere que, inicialmente, os indivíduos sem a bromélia apresentaram maior massa fresca de área, espessura da cutícula e área foliar específica.

Quanto ao conteúdo relativo de água (CRA), foi observado um aumento significativo aos 10 e 22 meses, com valores maiores no tratamento com *A. blanchetiana*. Isso indica que a presença da bromélia pode ter influenciado a

capacidade das plantas de *Inga laurina* de reter água em suas folhas, resultando em um maior conteúdo relativo de água.

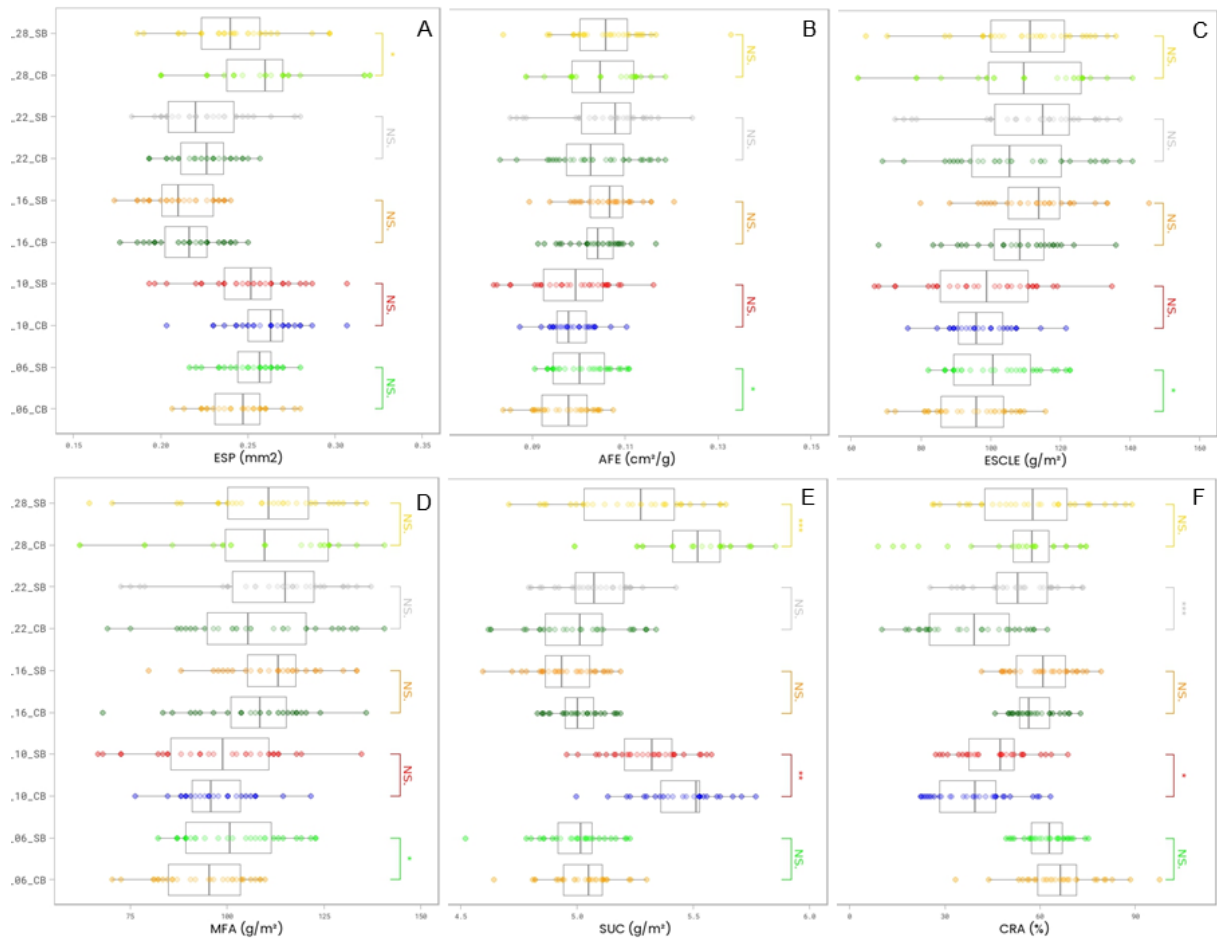


Figura 14 -Variação de atributos foliares de *Inga laurina* em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A - Espessura foliar (ESP - mm²); B - Área foliar específica (AFE - cm²/g); C - Esclerofilia foliar (ESCL - g/m³); D - Massa foliar específica (AFE - g/cm²); E - Suculência foliar (SUC - g/m²); F - Conteúdo relativo de água (CRA - %). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB –

indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, enquanto o NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

Nos dados fisiológicos, no tratamento com *A. blanchetiana* foi observado valores maiores dos parâmetros $\phi P0$ e RC/CS_o (Figura 15: A, C) em todas as avaliações. Isso indica que a presença da bromélia pode ter promovido um aumento na eficiência fotossintética e no transporte de elétrons na fotossíntese de *I. laurina*. Por outro lado, o parâmetro $\phi D0$ mostrou valores inversos, ou seja, menores no tratamento com *A. blanchetiana* (Figura 15: B). Isso sugere que a presença da bromélia pode ter afetado a dissipação de calor na fotossíntese, resultando em uma menor dissipação de energia como calor.

No parâmetro PI/abs, foram observados valores maiores nos indivíduos com *A. blanchetiana* aos 06, 22 e 28 meses, mas não foram verificadas diferenças estatísticas nos meses 10 e 16 (Figura 15: D). Isso indica que a presença da bromélia pode ter influenciado positivamente o desempenho fotossintético em certos momentos da avaliação.

Em relação às avaliações OJIP, os dados de fluorescência foram normalizados e as bandas K (Figura 16: A) e L (Figura 16: B) foram consideradas positivas para todos os tempos de avaliação. No entanto, foi observada uma maior amplitude nas bandas do tratamento sem *A. blanchetiana*. Isso sugere que a presença da bromélia pode ter afetado a dinâmica da fluorescência e a energia captada pela planta durante a fotossíntese.

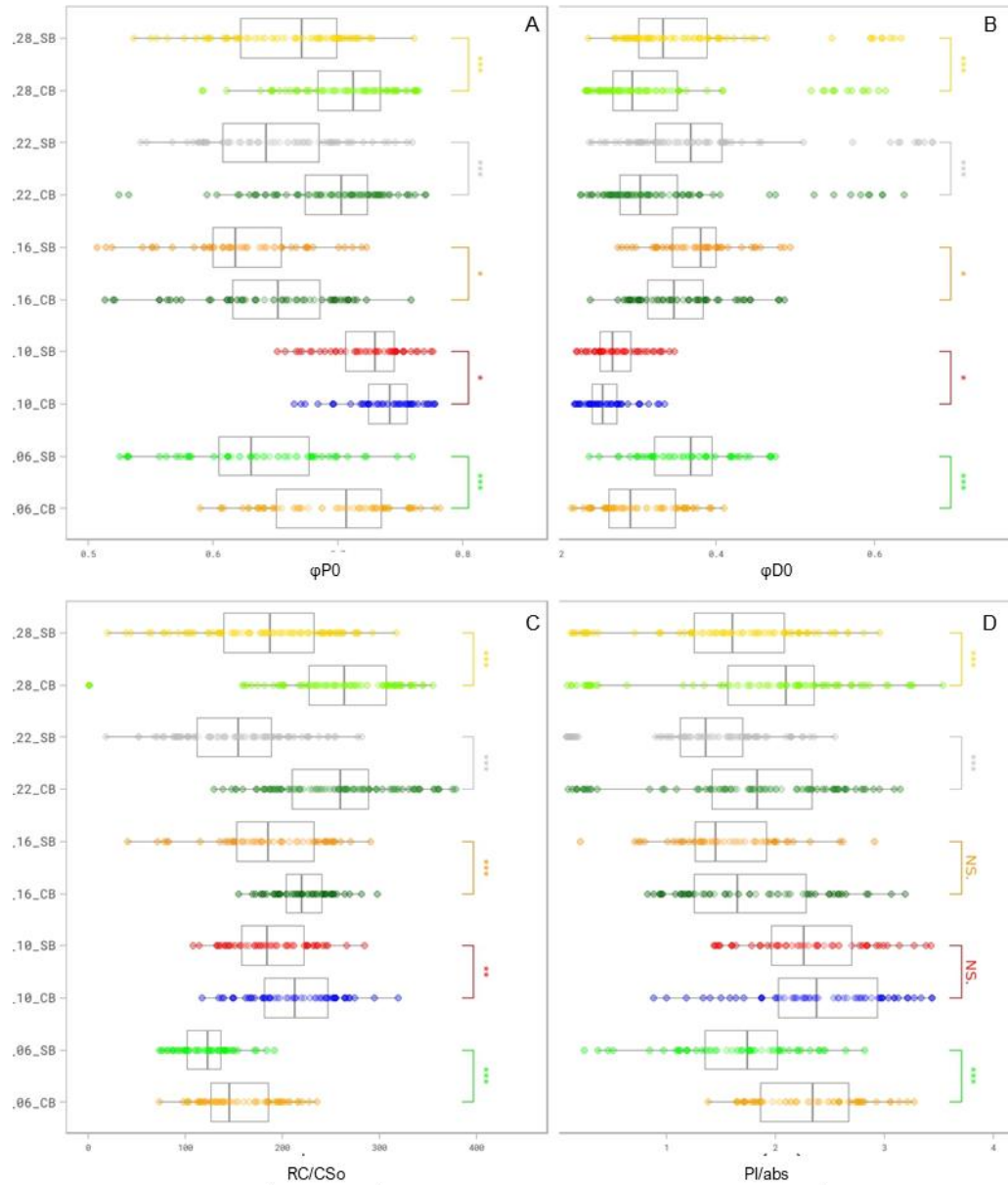


Figura 15 – Variação das análises fisiológicas de *Inga laurina* em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A – $\phi P0$ (rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária); B – $\phi D0$ (rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor); C – RC/CS0 (centros de reação redutores de QA ativos por seção transversal no FSII); D – PI/abs (índice de desempenho para conservação de energia desde éxcitons capturados até a redução dos aceptores de elétrons do inter-sistema). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o

plântio, 10 – dez meses após o plântio, 16 – dezesseis meses após o plântio, 22 – vinte e dois meses após o plântio e 28 – vinte e oito meses após o plântio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*, SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença entre os tratamentos, enquanto NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

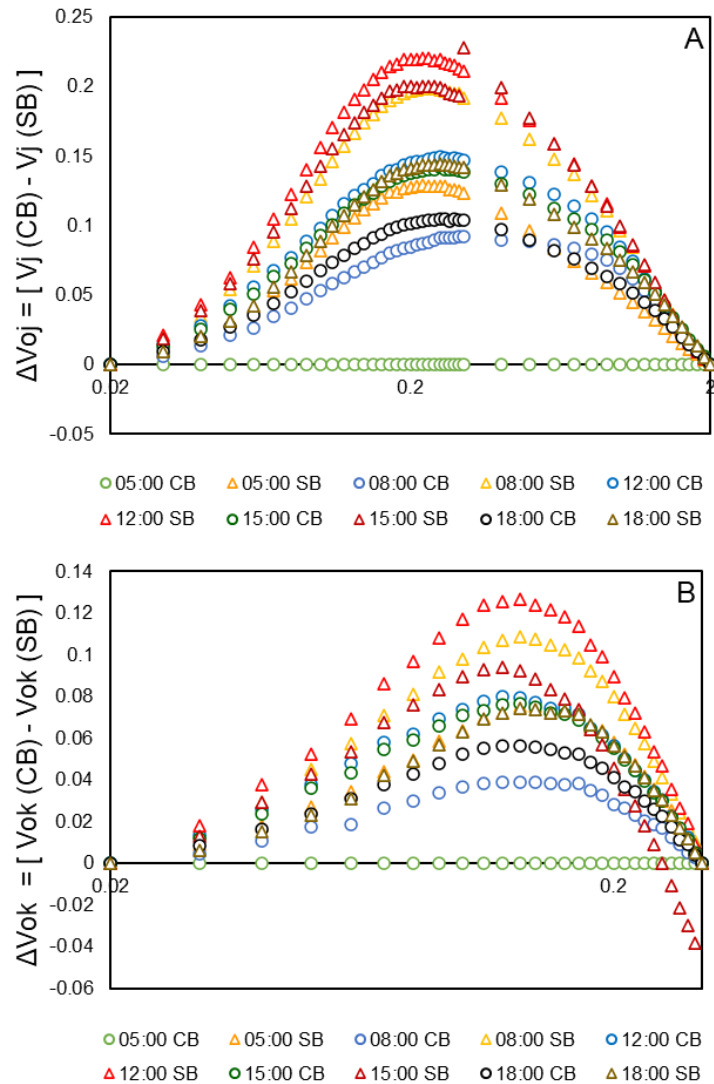


Figura 16 – Análises fisiológicas OJIP em cinco avaliações (05:00h, 08:00h, 12:00h, 15:00h e 18:00h) em indivíduos da espécie *Inga laurina* plantados com *Aechmea blanchetiana* (CB) e sem *A. blanchetiana* (SB). A- Análise da banda K ($\Delta V_{oj} = [V_j (CB) - V_j (SB)]$). B- Análise da banda L ($\Delta V_{ok} = [V_{ok} (CB) - V_{ok} (SB)]$).

Schinus terebinthifolia

Os resultados mostraram valores menores de sobrevivência no tratamento com *A. blanchetiana* em todas as avaliações. Aos 28 meses, os indivíduos sem a bromélia apresentaram uma sobrevivência de 77%, enquanto os indivíduos plantados com a bromélia apresentaram uma sobrevivência de 59%, evidenciando uma diferença estatística entre os tratamentos ($p < 0,05$). Isso indica uma relação inicialmente negativa da bromélia com *S. terebinthifolia* (Figura 17).

No entanto, resultados contrários foram observados nos parâmetros altura e área basal, em que foram encontrados valores maiores para os indivíduos plantados com *A. blanchetiana* em todas as avaliações, exceto no parâmetro altura no mês 10, onde não foram observadas diferenças entre os tratamentos (Figura 18). Isso indica que a presença da bromélia pode ter influenciado positivamente o crescimento em altura e a área basal de *S. terebinthifolia*.

Curiosamente, mesmo sendo observadas diferenças nos parâmetros morfológicos, não foram encontradas diferenças estatísticas nos dados de biomassa. Ao final do experimento, os indivíduos com e sem a bromélia não apresentaram ganho de biomassa significativo (Figura 19). Isso sugere que, embora a presença da bromélia possa ter estimulado o crescimento em altura e área basal, não houve um aumento correspondente na biomassa das plantas de *S. terebinthifolia*.

Esses resultados indicam uma interação complexa entre *A. blanchetiana* e *S. terebinthifolia*. Enquanto a sobrevivência da espécie foi afetada negativamente pela presença da bromélia, o crescimento em altura e área basal foi estimulado. No entanto, essas alterações morfológicas não se traduziram em um aumento significativo da biomassa. Esses achados ressaltam a importância de considerar múltiplos parâmetros e interações na avaliação do impacto de uma espécie sobre outra.

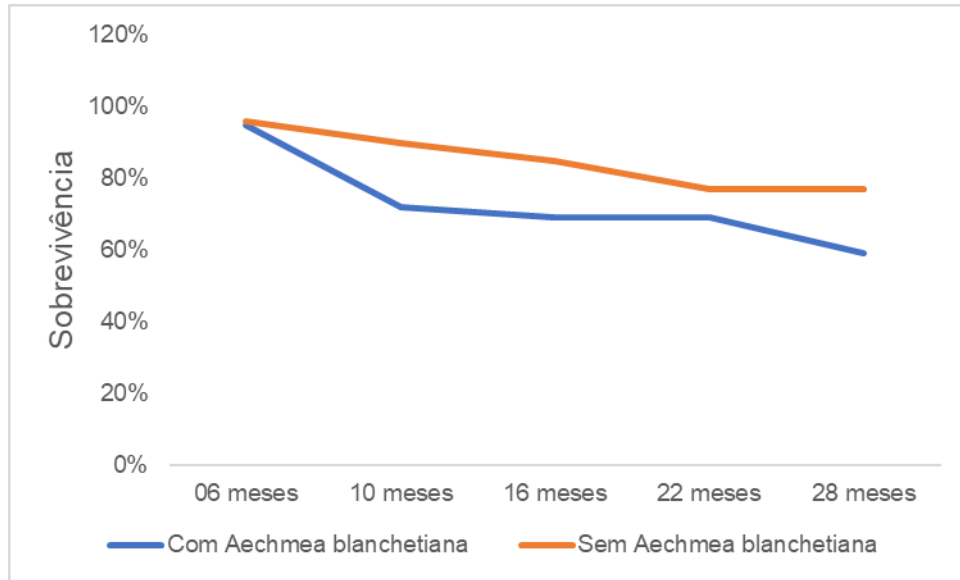


Figura 17 – Sobrevivência dos indivíduos de *Schinus terebinthifolia* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em cinco avaliações (06 meses após o plantio, 10 meses após o plantio, 16 meses após o plantio, 22 meses após o plantio e 28 meses após o plantio).

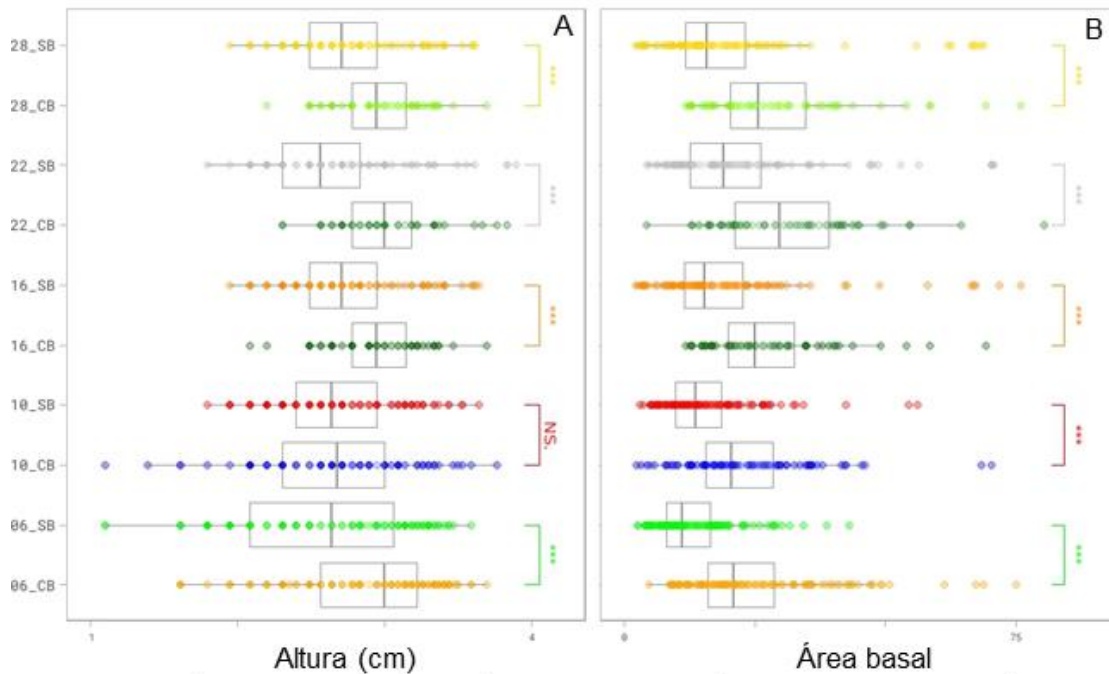


Figura 18 – Análises morfológicas de *Schinus terebinthifolia* com e sem *Aechmea blanchetiana* em cinco avaliações. A – Parâmetro Altura; B – Parâmetro Área basal. Os

números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, sendo NS. indicando que os tratamentos não diferiram entre si estatisticamente.

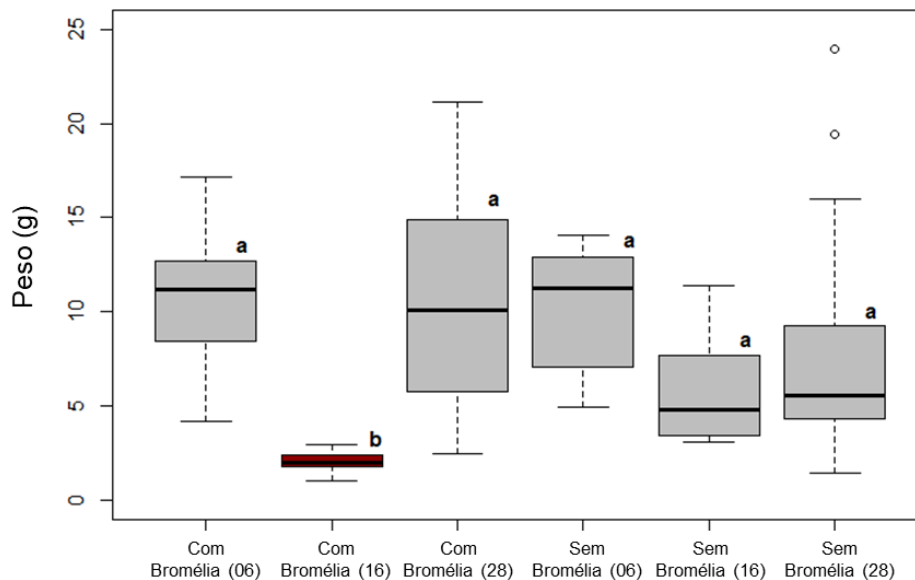


Figura 19 – Relação do peso da massa seca total (biomassa em grammas) dos indivíduos de *Schinus terebinthifolia* em dois tratamentos (com e sem *Aechmea blanchetiana*) e em três avaliações (0 – aos seis meses de plantio, 1 – aos 16 meses de plantio e 2 – aos 28 meses de plantio). Os asteriscos acima dos *boxplots* indicam diferença estatística entre os tratamentos com e sem *A. blanchetiana* no mês avaliado.

Já nos dados de atributos foliares apresentados na figura 20 observamos que somente valores do parâmetro suculência (SUC) apresentaram diferença estatística entre os indivíduos, onde aos 06 meses indivíduos sem *A. blanchetiana* tiveram maior

suculência, enquanto aos 22 e 28 meses indivíduos com a bromélia apresentaram valores maiores deste parâmetro (Figura 20: E).

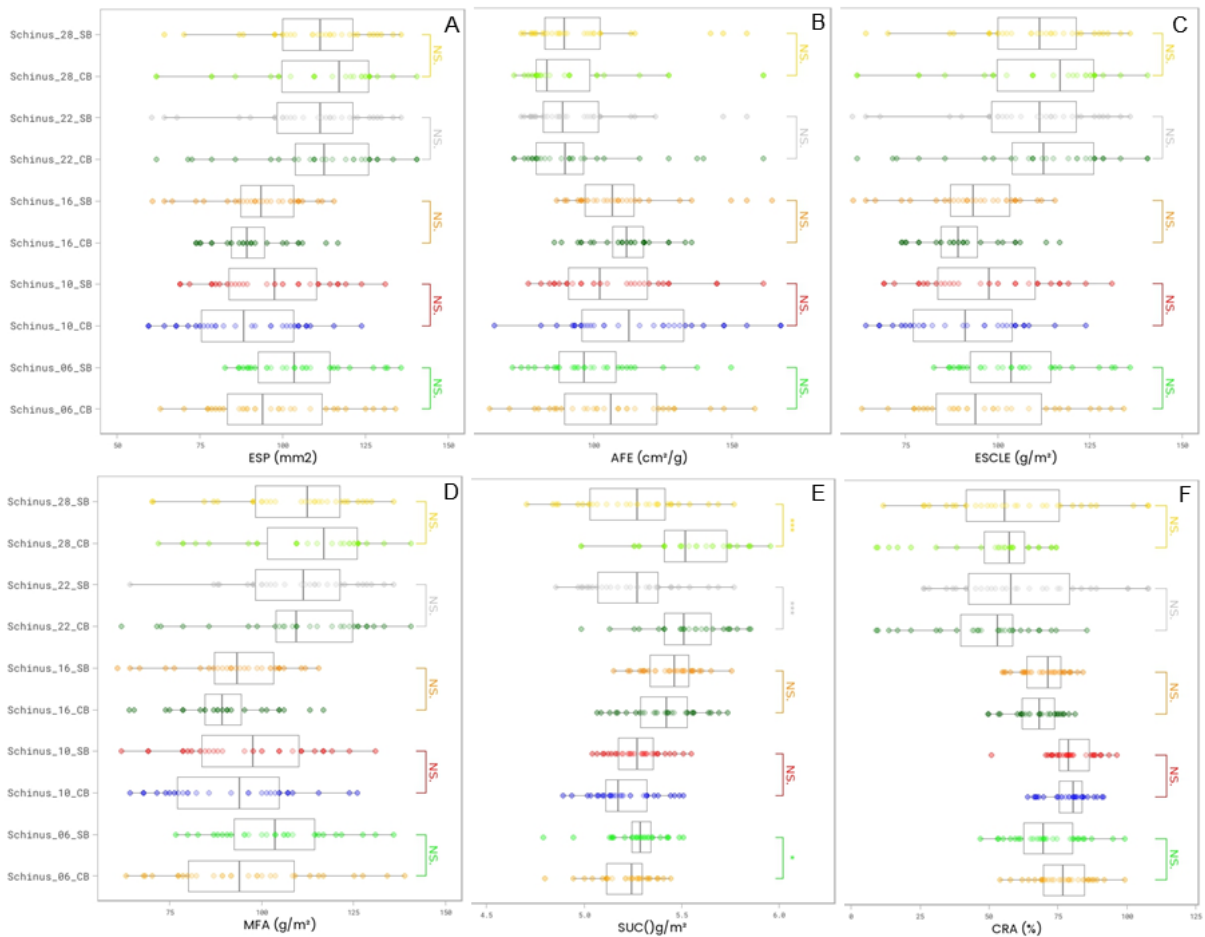


Figura 20 – Variação de atributos foliares de *Schinus terebinthifolia* em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A - Espessura foliar (ESP - mm²); B - Área foliar específica (AFE - cm²/g); C - Esclerofilia foliar (ESCL - g/m³); D - Massa foliar específica (AFE - g/cm²); E - Suculência foliar (SUC - g/m²); F - Conteúdo relativo de água (CRA - %). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*; SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada

gráfico representam a diferença estatística entre os tratamentos, enquanto o NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

Em relação aos dados fisiológicos de *S. terebinthifolia*, os resultados mostraram diferenças nos parâmetros $\phi P0$, $\phi D0$, RC/CSo e PI/abs entre os tratamentos com e sem *A. blanchetiana* (Figura 21: A). No parâmetro $\phi P0$, foram observados valores maiores nos meses 10, 16 e 28 para os indivíduos plantados com *A. blanchetiana*, enquanto valores menores foram encontrados nos meses 06 e 22 (Figura 21: A). Por outro lado, o parâmetro $\phi D0$ apresentou valores inversos, com valores menores para os indivíduos com *A. blanchetiana* em todos os meses avaliados (Figura 21: B).

No que diz respeito ao parâmetro RC/CSo, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos nos meses 06 e 22, mas nos meses 10, 16 e 28 foram encontrados valores maiores para os indivíduos plantados com *A. blanchetiana* (Figura 21: C). Já no parâmetro PI/abs, foram encontrados valores maiores para os indivíduos sem *A. blanchetiana* nos meses 06 e 22, valores maiores para os indivíduos com *A. blanchetiana* nos meses 10 e 28, e não foram observadas diferenças estatísticas nos meses 16 (Figura 21: D). E em relação aos resultados do teste OJIP, as bandas K e L foram consideradas positivas em todos os tempos e avaliações para ambos os tratamentos. No entanto, foi observada uma maior amplitude nas bandas do tratamento sem *A. blanchetiana* (Figura 22: A, B).

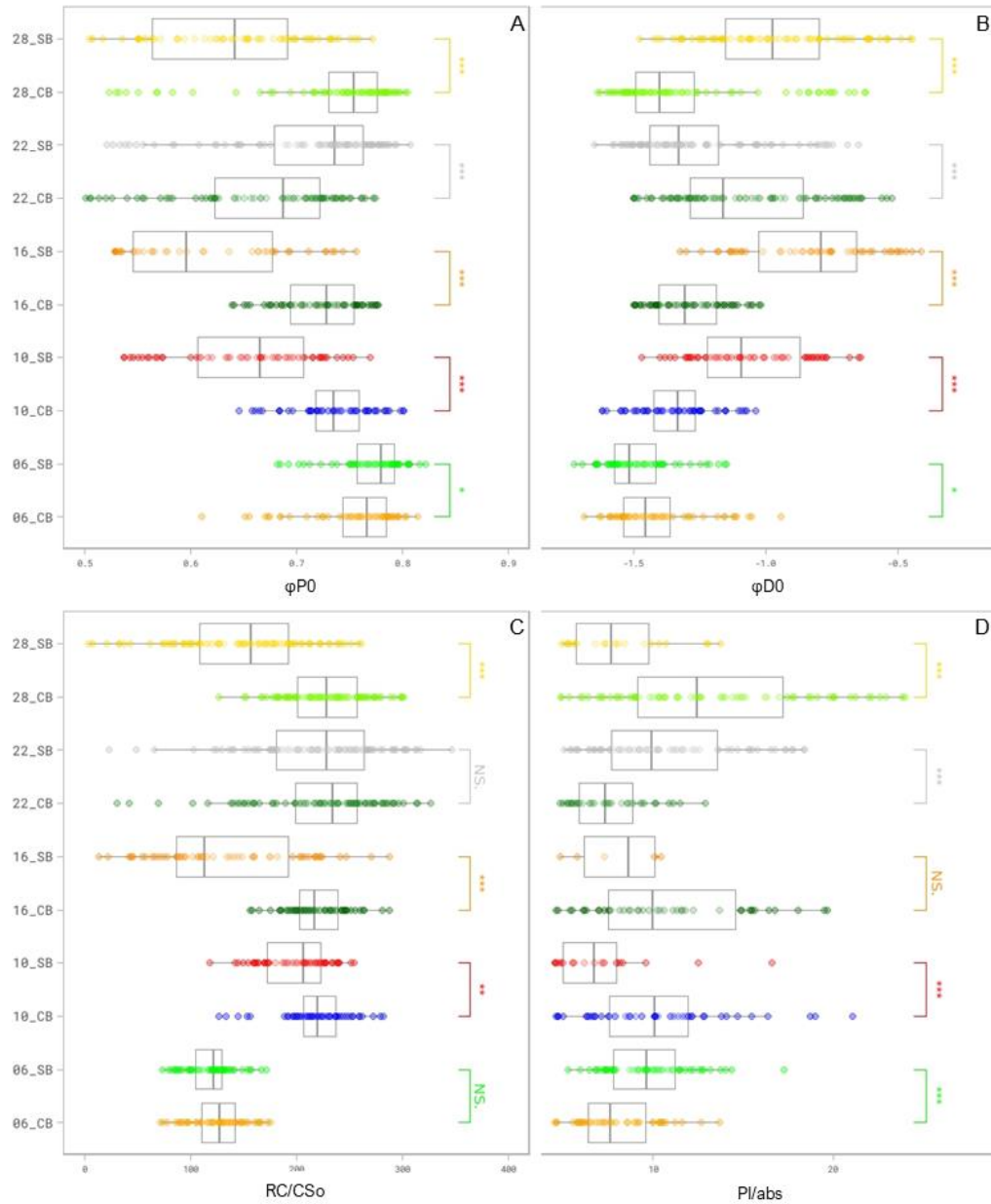


Figura 21 – Variação das análises fisiológicas em cinco avaliações (06, 10, 16, 22 e 28 meses) plantados com e sem *Aechmea blanchetiana*. A – $\phi P0$ (rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária); B – $\phi D0$ (rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor); C – RC/CS0 (centros de reação redutores de QA ativos por seção transversal no FSII); D – PI/abs (índice de desempenho para conservação de energia desde éxcitons capturados até a redução dos aceptores de elétrons do inter-sistema). Os números localizados no eixo y à esquerda da figura representam os meses de avaliação (06 – seis meses após o plantio, 10 – dez meses

após o plantio, 16 – dezesseis meses após o plantio, 22 – vinte e dois meses após o plantio e 28 – vinte e oito meses após o plantio). Os símbolos CB e SB representam os tratamentos (CB – indivíduos plantados com *A. blanchetiana*, SB – indivíduos plantados sem *A. blanchetiana*). Os asteriscos no lado direito de cada gráfico representam a diferença entre os tratamentos, enquanto NS. indica que os tratamentos não diferem entre si estatisticamente.

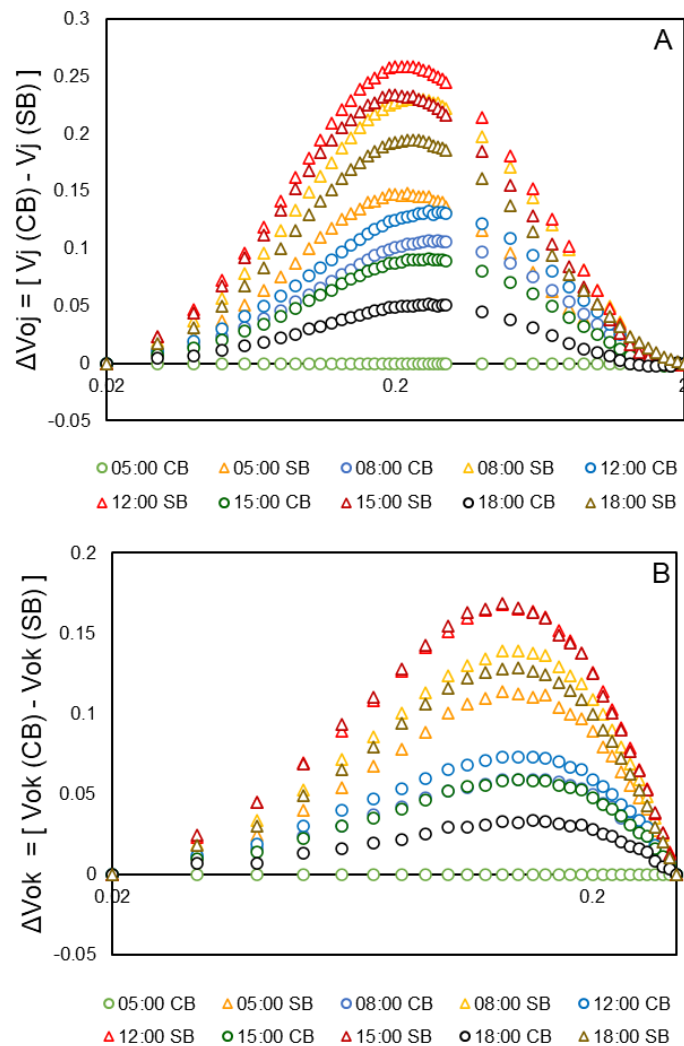


Figura 22 – Análises fisiológicas *OJIP* cinco avaliações (05:00h, 08:00h, 12:00h, 15:00h e 18:00h) em indivíduos da espécie *Schinus terebinthifolia* plantados com *Aechmea blanchetiana* (CB) e sem *A. blanchetiana* (SB). A- Análise da banda K ($\Delta V_{oj} = [V_j (CB) - V_j (SB)]$). B- Análise da banda L ($\Delta V_{ok} = [V_{ok} (CB) - V_{ok} (SB)]$).

Parâmetros ambientais

Os parâmetros ambientais, temperatura do ar (Figura 23: A) e intensidade luminosa (Figura 23: B) apresentaram valores maiores ($p < 0,05$) e se estenderam por mais horas durante o dia no tratamento sem *A. blanchetiana*, resultados contrários do que foi observado para o parâmetro umidade relativa do ar (Figura 23: C).

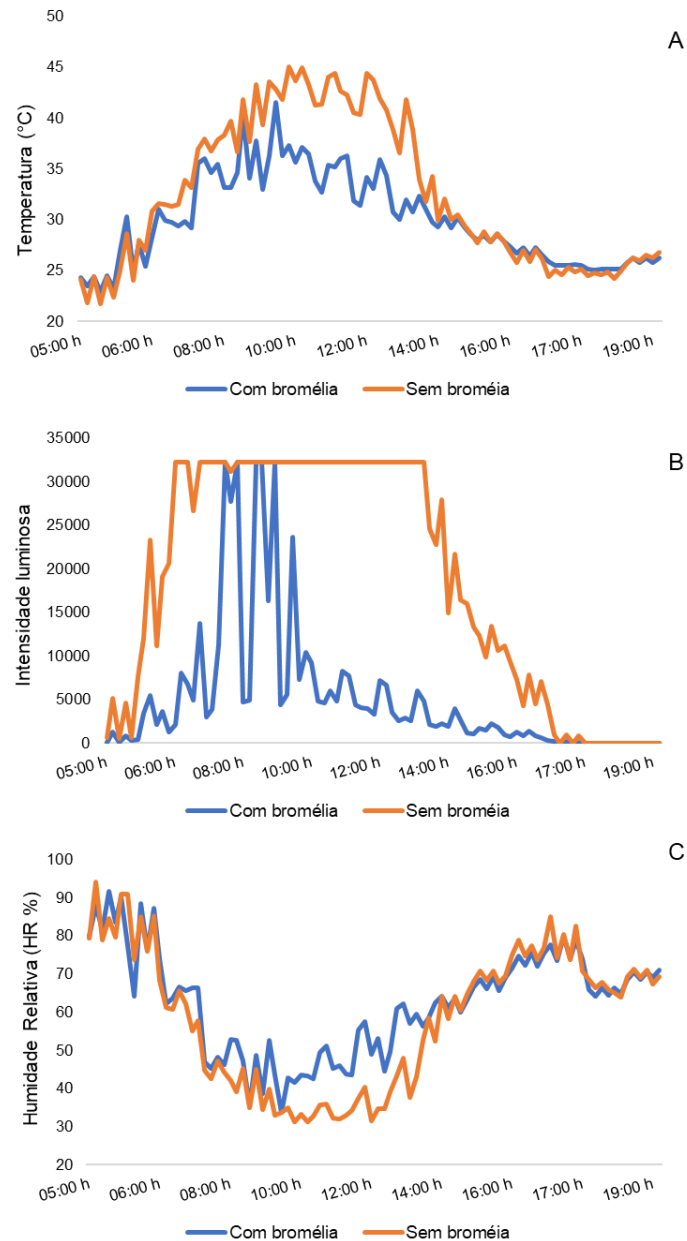


Figura 23 – Representação gráfica dos parâmetros ambientais temperatura do ar (Temp °C), umidade relativa do ar (HR %) e intensidade luminosa em um plantio com e sem

Aechmea blanchetiana. A – Parâmetro ambiental temperatura do ar (Temp °C); B – Parâmetro ambiental intensidade luminosa; C – Parâmetro ambiental humidade relativa do ar (HR %).

Discussão

As taxas de sobrevivência das três espécies estudadas são consideradas baixas quando comparadas ao trabalho de Zamith & Scarano (2006), no qual encontraram uma sobrevivência média de 80% em uma área de restinga. No entanto, ao comparar com o trabalho de Loureiro et al. (2021), no qual foram registradas taxas de sobrevivência abaixo de 55% ao final do experimento, os dados deste estudo estão dentro do observado na literatura para áreas de restinga.

Estudos indicam que a presença de uma espécie facilitadora em plantios aumenta a sobrevivência de indivíduos em ambientes com condições climáticas severas (Encino-Ruiz *et al.*, 2013; Urretavizcaya & Defosse, 2013; Torroba-Balmori *et al.*, 2015; Dominguez *et al.*, 2015). No entanto, nossos resultados indicam que a presença da bromélia não interferiu na sobrevivência dos indivíduos, atuando de forma neutra para as espécies *D. ecastophyllum* e *I. laurina*, ou de forma negativa quando observamos os dados da espécie *S. terebinthifolia*. Desta forma, refutamos a primeira hipótese deste estudo, ue citava que a presença da bromélia *A. blanchetiana* reduz a mortalidade de indivíduos.

Bannister *et al.* (2020) constataram que em um ambiente com condições severas a presença de um arbusto facilitador não interferiu na sobrevivência entre tratamentos (com e sem o arbusto facilitador). No entanto, outros parâmetros, tanto morfológicos quanto fisiológicos, indicaram que a presença do arbusto facilitador melhorou de forma geral o processo de restauração ambiental do meio. No presente estudo, constatamos que, com a presença de *A. blanchetiana*, os indivíduos apresentaram maior altura, diâmetro e rendimento fotossintético, indo de acordo ao encontrado por Bannister *et al.* (2020). Embora a presença da *A. blanchetiana* não tenha interferido na sobrevivência dos indivíduos das espécies plantadas, interferiu positivamente no crescimento destes.

A junção dos dados de altura, área basal e biomassa (para as espécies *D. ecastophyllum* e *I. laurina*), nos permite corroborar estudos que citam que espécies de bromélias apresentam um alto potencial em promover a formação de ambientes mais favoráveis ao desenvolvimento de outras espécies (Zaluar & Scarano, 2000; Scarano, 2002; Rocha *et al.*, 2015; Tsuda & Castellani, 2016). O acúmulo de biomassa em diferentes órgãos da planta é considerado um bom parâmetro para predizer a tolerância ou intolerância em relação à luminosidade (Dias-Filho, 1997; Costa *et al.*, 2021), temperatura, disponibilidade de água, fertilidade do solo e desenvolvimento da planta (Syvertsen & Lloyd, 1994), condições estas reguláveis de forma positiva por mecanismos de facilitação (Lucas *et al.*, 2021). Assim, os dados encontrados neste estudo indicam que a presença da *A. blanchetiana* pode estar favorecendo a redução dos impactos gerados pelos fatores abióticos, influenciando positivamente no crescimento dos indivíduos de *D. ecastophyllum* e *I. laurina* plantadas. Por outro lado, para a espécie *S. terebinthifolia* não foi observado diferença entre os tratamentos ao final do experimento.

Algo que podemos questionar em relação aos parâmetros morfológicos citados é a distinção de grupos funcionais das espécies arbustivas avaliadas, em que *I. laurina* (Halliday & Nakao, 1982) e *D. ecastophyllum* são consideradas espécies fixadoras de nitrogênio (Saur *et al.*, 2000), enquanto *S. terebinthifolia* considerada uma espécie não fixadora (Pascual, 2003). Como o nitrogênio é considerado fundamental no metabolismo das plantas (Hungria *et al.*, 2001), sua ausência ou baixa disponibilidade, como pode ser observado para áreas de restinga (Hay *et al.*, 1981) limita o crescimento vegetal (Chapin, 1980), incluindo o ganho de biomassa (Matos *et al.*, 2005). Essa associação simbiótica, que ocorrem em leguminosas como nas espécies *I. laurina* e *D. ecastophyllum* pode estar auxiliando no crescimento das plantas, principalmente quando estas estão com a presença da *A. blanchetiana*.

Nos dados de atributos foliares para às três espécies, podemos observar que, quando existem diferenças estatísticas entre os tratamentos, estas são de baixa magnitude. Segundo a literatura, espécies a pleno sol apresentam um conjunto de respostas morfológicas ecológicas, como heliofilia, menor área foliar específica, maior

conteúdo de massa seca foliar (Evans & Poorter, 2001) e maior espessura (Melo Junior & Boeger, 2016). Além disso, valores elevados de MFA estão relacionados a ambientes com baixa disponibilidade de água ou nutrientes no solo e maior longevidade da folha, caracterizando uma eficiência na utilização dos nutrientes escassos (Niinemets & Kull, 2003). Os dados encontrados neste estudo indicam que os atributos foliares não apresentaram relações claras com os tratamentos, onde, não são observadas respostas a nível de atributos foliares. Portanto, considerando o tempo de avaliação e as análises realizadas, os atributos foliares não foram considerados bons parâmetros para avaliar o crescimento das espécies.

Entretanto, os indivíduos plantados com *A. blanchetiana* apresentaram respostas fisiológicas positivas relacionados aos mecanismos de facilitação. Valores maiores encontrados na produção quântica da energia de dissipação ($\phi D0$) em indivíduos do tratamento sem *A. blanchetiana* podem indicar um mecanismo fotoprotetor dos indivíduos, onde uma grande parte da energia absorvida pode estar sendo dissipada na forma de calor ou de fluorescência (Thach *et al.*, 2007), como respostas a alta exposição pela luminosidade (Öquist *et al.*, 1992). A sombra gerada pela bromélia *A. blanchetiana* aos indivíduos das espécies arbustivas deve estar reduzindo a porcentagem de dissipação e produção quântica de energia, quando comparado os indivíduos a pleno sol. Inversamente aos valores da produção quântica da energia de dissipação ($\phi D0$) o rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária ($\phi P0$) é considerado um bom parâmetro para avaliar a inativação do centro de reação do FSII (Schansker *et al.*, 2014), onde valores menores podem até indicar a fotoinibição crônica (Murchie *et al.*, 2015), valores estes encontrados para indivíduos plantados sem a bromélia. Os parâmetros $\phi D0$ e $\phi P0$ interferem diretamente aos valores do índice de desempenho (PI/abs), pois o $\phi P0$ traz respostas sobre o rendimento quântico inicial, respostas do processo fotoquímico e rendimento quântico do FSII, onde posteriormente um estresse é observado no PI/abs (Han *et al.*, 2009). Portanto, os menores valores dos parâmetros de PI/abs e $\phi P0$ encontrados para o tratamento sem *A. blanchetiana* podem indicando um efeito de fotoinibição dos indivíduos.

O parâmetro PI/abs, definido como o índice de desempenho para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII até a redução dos aceptores de elétrons do inter-sistema, é considerado de suma importância para avaliar os processos fotoquímicos relacionados ao FSII, por representar melhor a ocorrência do fluxo energético na cadeia transportadora de elétrons na fotossíntese (Yusuf *et al.*, 2010). É considerada um parâmetro que indica a vitalidade da planta, principalmente quando estas são induzidas a diferentes condições ambientais, alterações nos valores são bons indicativos das atividades fotossintéticas de uma determinada espécie (Strasser *et al.*, 2004). Desta forma, valores menores encontrados no tratamento sem *A. blanchetiana* para as espécies *I. laurina* e *S. terebinthifolia* indicam uma menor eficiência fotoquímica quando comparado aos indivíduos com a presença da *A. blanchetiana*, que apresentam maior eficiente de desempenho e está ligado ao aumento dos centros de reação ativos (RC/CS_o). E embora ao final do experimento os valores do parâmetro RC/CS_o e do parâmetro PI/abs não apresentarem diferenças estatísticas entre os tratamentos para *D. ecastophyllum*, foi observado uma tendência com valores maiores para os indivíduos do com a presença da bromélia.

Quando um indivíduo é exposto a níveis de estresse, como altas temperaturas, a cadeia de transporte de elétrons da fotossíntese pode ser afetada, levando a altas amplitudes nas bandas K e L (Martinazzo *et al.*, 2012). O desvio positivo na banda K corresponde a um desequilíbrio entre os lados doador e receptor de elétrons do PSII, o que pode levar à redução progressiva das taxas de processos fotoquímicos (Gururani *et al.*, 2012), relacionado à dissociação ou desativação do complexo evolutivo de oxigênio (CEO) (Strasser *et al.*, 2004), considerado um processo sensível a estresse de temperatura (Pushpalatha *et al.*, 2008). Embora tenham sido observadas bandas positivas nos dois tratamentos para as três espécies, os indivíduos plantados sem *A. blanchetiana* (em pleno sol) apresentaram amplitudes maiores do que os indivíduos com e sem *A. blanchetiana* em todos os períodos do dia. Em relação à banda L, a maior amplitude observada indica diferença entre os valores de fluorescência variável relativa entre os passos O e K, levando a uma menor conectividade ou menor agrupamento das unidades do PSII (Yusuf *et al.*, 2010), refletindo uma instabilidade do sistema (Strasser, 1988). Seguindo um padrão do que foi observado nas bandas K, os

indivíduos sem *A. blanchetiana* apresentaram maior amplitude na banda L, o que indica uma redução mais drástica nas atividades fotoquímicas. Quando relacionamos os resultados das bandas com os parâmetros ambientais para as três espécies, observamos que uma maior amplitude está relacionada ao aumento da temperatura e da intensidade luminosa (Figura 18: A, B), como também citado por Gonçalves *et al.* (2007; 2010).

A presença da bromélia *A. blanchetiana* ameniza os parâmetros ambientais encontrados neste estudo, corroborando nossa segunda hipótese e os resultados de Pugnaire *et al.* (2011), onde os autores citam que em ambientes com condições ambientais extremas, a presença de um indivíduo facilitador reduz os fatores ambientais extremos, favorecendo o crescimento das espécies vizinhas.

De modo geral, as respostas fisiológicas encontradas neste estudo indicam que, além dos parâmetros de sobrevivência, altura e área basal, considerados bons indicadores do sucesso de estabelecimento de plantas em um experimento de campo (Almeida & Sánchez 2005), a combinação desses parâmetros com avaliações fisiológicas e ambientais permite um melhor entendimento do desenvolvimento de uma determinada espécie em campo.

Garbin *et al.* (2018) mencionam que a restauração de comunidades de plantas em ambientes altamente impactados, como as áreas de mineração de areia, demanda níveis de intervenção, como a restauração ativa. O uso de interações positivas, como a inserção de espécies facilitadoras, pode auxiliar nesses processos em comunidades costeiras (Lithgow *et al.*, 2013). Esses dados estão de acordo com o observado neste estudo, onde a presença da bromélia *A. blanchetiana* interferiu de forma positiva no crescimento das espécies arbustivas plantadas, auxiliando nos processos de restauração.

Conclusão

Os dados encontrados no estudo indicam que a bromélia *A. blanchetiana* atua como facilitadora para as três espécies avaliadas (em diferentes níveis). Embora não

tenha sido observada uma interferência positiva nos parâmetros de sobrevivência e atributos foliares das espécies, outros parâmetros morfológicos, fisiológicos e ambientais indicaram que a presença da bromélia *A. blanchetiana* exerceu um efeito facilitador. A presença da bromélia amenizou as condições ambientais, criando microclimas mais favoráveis e refletindo diretamente nos índices fisiológicos das plantas. Parâmetros morfológicos, como altura, área basal e biomassa, indicaram efeitos positivos da presença da *A. blanchetiana*, exceto no caso de *S. terebinthifolia*, onde não foi observada diferença no parâmetro de biomassa ao final das avaliações. Portanto, embora a bromélia tenha características que permitam um maior crescimento das espécies avaliadas, os mecanismos de facilitação não atuam de forma igual para todas as espécies. O maior crescimento observado em *D. ecastophyllum* e *I. laurina* pode estar relacionado a outros fatores, como a capacidade de fixação de nitrogênio da bromélia. Em conclusão, os resultados do estudo indicam que a bromélia *A. blanchetiana* desempenha o papel de facilitadora em ambientes com condições ambientais adversas, e seu uso é recomendado em projetos de restauração.

Referências

- Abiyu, A., Teketay, D., Glatzel, G., Aerts, R., Gratzer, G. (2017). Restoration of degraded ecosystems in the Afromontane highlands of Ethiopia: comparison of plantations and natural regeneration. *Southern Forests.*, 27: 103-108.
- Almeida, R.O.P.O. Sánchez, L.E. (2005). Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação de desempenho. *Revista Árvore.*, 29: 47-54.
- Bannister, J.R., Travieso, G., Galindo, N., Acevedo, M., Puettmann, K., Salas-Eljatib, C. (2020). Shrub influences on seedling performance when restoring the slow-growing conifer *Pilgerodendron uviferum* in southern bog forests. *Restoration Ecology.*, 28: 396-407.
- Barrs, H.D. Weatherly, P.E.A. (1962). Re-examination of relative turgidity for estimating water deficit in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences.*, 15: 413–428.

- Benincasa, M.M.P. (2003). Análise de crescimento de plantas: noções básicas. 2.ed. Jaboticabal: Fundação Nacional de Ensino e Pesquisa. 41p.
- Bertness, M. Callaway, R.M. (1994). Positive interactions in communities. *Trends in Ecology Evolution.*, 9: 191-193
- Brooker, R.W., Maestre, F.T., Callaway, R.M., *et al.* (2008). Facilitation In Plant Communities: The Past. The Present. And The Future. *Journal Ecology.*, 96: 18-34.
- Bruno, J.F., Stachowicz, J.J., Bertness, M.D. (2003). Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in Ecology & Evolution.*, 18: 119-125.
- Callaway, R.M. Walker, L.R. (1997). Competition & facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology.*, 7: 1958-1965.
- Carvalho DC. Pereira MG. Menezes LFT. 2014. Aporte De Biomassa e Nutrientes por *Allagoptera arenaria* na Restinga da Marambaia, Rio De Janeiro, RJ. *Floresta* 44: 349-358.
- Carvalho, A.M. (1997). A Synopsis of the Genus *Dalbergia* (Fabaceae: Dalbergieae) in Brazil. *Brittonia.*, 49: 87-109.
- Chapin, F.S. (1980). The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics.*, 11: 233-260.
- CNCFlora. *Aechmea blanchetiana* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: [http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Aechmea blanchetiana](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Aechmea%20blanchetiana). Acesso em 3 junho 2022.
- Connell, J.H., Slatyer, R.O. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist.*, 111: 1119–1144.
- Cordazzo, C.V., Paiva, J.B., Seeliger, U. (2006). Guia ilustrado plantas das Dunas da Costa Sudoeste Atlântica. Pelotas: USEB. 107p.

- Costa, H.P.S., Silva, M.F.C., Vieira, M.G. (2021). Fixed bed biosorption and ionic exchange of aluminum by brown algae residual biomass. *Journal of Water Process Engineering.*, 42: 102 – 117
- Dias, A.T.C., Bozelli, R.L.B., Zamith, L.R., Esteves, F.A., Ferreira, P., Scarano, F.R. (2014). Limited relevance of studying colonization in degraded areas for selecting framework species for ecosystem restoration. *Natureza & Conservação.*, 12: 134-137.
- Dias-Filho, M.B. (1997). Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light environments. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília 32: 789-796.
- Dominguez, M.T., Perez-Ramos, I.M., Murillo, J.M., Maranon T. (2015). Facilitating the afforestation of Mediterranean polluted soils by nurse shrubs. *Journal of Environmental Management.*, 161: 276-286.
- Encino-Ruiz, L., Lindig-Cisneros, R., Gomez-Romero, M., Blanco-Garcia, A. (2013). Performance of three tree species from tropical dry forest in an ecological restoration trial. *Botanical Sciences.*, 91: 107-114.
- Evans, J.R. Poorter, H. (2001). Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell and Environment*, 24: 755-767.
- Fedriani, J.M., Calvo, G., Delibes, M., Ayllón, D., Garrote, P.J. (2020). The overlooked benefits of synzoochory: rodents rescue seeds from aborted fruits. *Ecosphere* 11: e03298. doi: 10.1002/ecs2.3298
- Garbin, M.L., Misaki, F., Ferreira, P.F., Guidoni-Martins, K.G., Soares, R.B., Mariotte, P., Sansevero, J.B.B., Rocha, P.G., Silva, A.G. (2018). Long-term regeneration of a tropical plant community after sand mining. *Ecology and Evolution.*, 8: 5712-5723.
- Garcia, F.C.P. Bonadeu, F. (2020). Inga in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB23007>>. Acesso em: 04 ago. 2022

- Gonçalves, J.F.C., Santos, Jr.M., Nina, Jr.A.R., Chevreuil, L.R. (2007). Energetic flux and performance index in copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedlings under two irradiance environments. *Brazilian Journal Plant Physiology.*, 19: 171-184
- Gonçalves, J.F.C., Silva, C.E., Guimarães, D.G., Bernades, R.S. (2010). Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. *Acta Amazonica.*, 40: 89 – 98.
- Gururani, M.A., Upadhyaya, C.P., Strasser, R.J., Woong, J.P., Park, S.W. (2012). Physiological and biochemical responses of transgenic potato plants with altered expression of PSII manganese stabilizing protein. *Plant Physiol. Biochem.*, 58:182-194.
- Halliday, J. Nakao, P.L. (1982). The symbiotic affinities of woody species under consideration as nitrogen-fixing trees. A resource document. NifTAL Project and Mircen, University of Hawaii.
- Han, S., Tang, N., Jiang, H.X., Yang, L.T., Li, Y., Chen, L.S. (2009). CO₂ assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. *Plant Sci.*, 176 143–153.
- Hay, J., Lacerda, L.D., Tan, A.L. (1981). Soil cation increase in a tropical sand dune ecosystem due to a terrestrial bromeliad. *Ecology.*, 62: 1392-1395.
- Hungria, M., Campo, J.R., Mendes, I.C. (2001). Fixação Biológica de Nitrogênio na Soja. Embrapa. pp.11-15.
- Kluge, M. Ting, I.P. (1978). Crassulacean Acid Metabolism: Analysis of an Ecological Adaptation. Berlin, Springer-Verlag. 212p.
- Liancourt, P. Dolezal, J. (2021). Community-scale effects and strain: Facilitation beyond conspicuous patterns. *Journal Ecology.*, 109: 19-25.
- Lithgow, D., Martínez, M.L., Gallego-Fernández, J.B., Hesp, P.A., Flores, P., Rodríguez-Revelo, N., Jiménez-Orocio, O., Mendoza-González. Álvarez-Molina, L.L. (2013). Linking restoration ecology with coastal dune restoration. *Geomorphology.*, 214–224.

- Lorenzi, H. Matos, F.J.A. (2008). Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas. 2.ed. Nova Odessa, S P: Instituto Plantarum. 544p
- Lorenzi, H. Souza, H.M. (2001). Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 720p.
- Lorenzi, H. (1998). Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum. 352 p.
- Loureiro, N., De Souza, T.F., Do Nascimento, D.F., Nascimento, M.T. (2021). Survival, seedlings growth and natural regeneration in areas under ecological restoration in a sandy coastal plain (restinga) of southeastern Brazil. *Austral Ecology.*, 47: 326-340.
- Lucas, D.S., Oliveira, D.M.P., Carvalho, E.C.D., Soares, A.A., Zandavali, R.B. (2021). Evidence of facilitation between early-successional tree species and the regenerating plant community in a tropical seasonally dry environment. *Austral Ecology.*, 47: 541-556.
- Martinazzo, E.G., Ramm, A., Bacarin, M.A. (2012). The chlorophyll a fluorescence as an indicator of the temperature stress in the leaves of *Prunus pérsica*. *Braz. J. Plant Physiol.*, 24: 237 – 246.
- Matos, L.V., Campello, E.F.C., Resende, A.S. (2005). Plantio de leguminosas arbóreas para produção de moirões vivos e construção de cercas ecológicas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 100 p.
- Melo Júnior, J.C.F. Boeger, M.R.T. (2016). Leaf traits and plastic potential of plant species in a lightedaphic gradient from restinga in southern Brazil. *Acta Biologica Colombiana.*, 21: 51-62.
- Mendoza-Hernández, P.E., Orozco-Segovia, A., Meave, J.A., Valverde, T., Martínez-Ramos, M. (2013). Vegetation recovery and plant facilitation in a human disturbed lava field in a megacity: searching tools for ecosystem restoration. *Plant Ecology.*, 214: 153–167.
- Menezes, L.F.T. Araújo, D.S.D. (1999). Estrutura de duas formações vegetais do cordão externo da Restinga de Marambaia. RJ. *Acta Botanica Brasilica.*, 13: 223-235.

Murchie, E.H., Ali, A., Herman, T. (2015). Photoprotection as a Trait for Rice Yield Improvement: Status and Prospects. *Rice.*, 8: 31-39.

Navarro-Cano, J.A., Verdu, M., Garcia, C., Goberna, M. (2015). What nurse shrubs can do for barren soils: rapid productivity shifts associated with a 40 years ontogenetic gradient. *Plant and Soil.*, 388: 197-209.

Niinemets, Ü. Kull, K. (2003). Leaf structure vs. nutrient relationship vary with soil conditions in temperate shrubs and trees. *Acta Oecologica.*, 24: 209-219.

Öquist, G., Chow, W.S., Anderson, J.M. (1992). Photoinhibition of photosynthesis represents a mechanism for the long-term regulation of photosystem II. *Planta* 186: 450-460.

Panoso, L.A., Gomes, I.A., Bonelli, S. (1978). Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo. *Bolm Téc. Embrapa, Rio de Janeiro* 45: 1-461.

Pascual, J.O. (2003). Cuatro décadas en la simbiosis Rhizobium-leguminosa. Discurso leído en el acto de su recepción como académico numerario. Academia de Ciências Matemáticas, Físico-químicas y Naturales de Granada.

Pugnaire, F.I., Armas, C., Maestre, F.T. (2011). Positive plant interactions in the Iberian Southeast: Mechanisms. environmental gradients. and ecosystem function. *Journal of Arid Environments.*, 75: 1310-1320.

Pugnaire, F.I., Haase, P., Puigdefabregas, J. (1996). Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology.*, 77: 1420-1426.

Pushpalatha, P., Sharma-Natu, P., Ghildiyal, M.C. (2008). Photosynthetic response of wheat cultivar to long-term exposure to elevated temperature. *Photosynthetica.*, 46: 552-556.

Rambaldi, D.M. Oliveira, D.A.S. (2003). Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Brasília, MMA/SBF. 509p.

- Reis, A., Bechara, F.C., Espínola, M.B., Vieira, N.K., Souza, L.L. (2003). Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. *Natureza & Conservação*, 1: 28-36.
- Rocha, F.S., Duarte, L.S., Waechter, J.L. (2015). Positive association between *Bromelia balansae* (Bromeliaceae) and tree seedlings on rocky outcrops of Atlantic Forest. *Journal Tropical Ecology*, 31: 195-198
- Saur, E., Carcelle, S., Guezennec, S., Rousteau, A. (2000). Nodulation of legume species in wetlands of Guadeloupe (Lesser Antilles). *Wetlands*, 20: 730-734.
- Scarano, F.R. (2002). Structure. Function and Floristic Relationships of Plant Communities in Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest. *Annals of Botany*, 9: 517-524.
- Scarano, F.R. (2009). Plant communities at the periphery of the Atlantic rain forest: Rare-species bias and its risks for conservation. *Biological Conservation*, 142: 1201 – 1208.
- Schansker, G., Tóth, S.Z., Holzwarth, A.R., Garab, G. (2014). Chlorophyll a fluorescence: beyond the limits of the QA model. *Photosynthesis Research*, 120: 43-58.
- Scherer, A., Maraschi-Silva, F., Baptista, L.R.M. (2005). Florística e estrutura do componente arbóreo de matas de Restinga arenosa no Parque Estadual de Itapuã, RS, Brasil. *Acta Botânica Brasilica*, 19: 715-726.
- Shumway, S.W. (2000). Facilitative effects of a s& dune shrub on species growing beneath the shrub canopy. *Oecologia*, 124: 138-148.
- Silva-Luz, C.L., Pirani, J.R., Pell, S.K., Mitchell, J.D. Anacardiaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB15471>>. Acesso em: 04 ago. 2022
- Souza, V.C. Lorenzi, H. (2005). Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APGII. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 640p.

- Strasser, B.J. Strasser, R.J. (1995). Measuring Fast Fluorescence Transients to Address Environmental Questions: The JIP-Test. In: Mathis P. Ed., *Photosynthesis: From Light to Biosphere*, KAP Press, Dordrecht 977-980.
- Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M., Dangre, D., Rai, M. (2007). Biophysical phenomics reveals functional building blocks of plants systems biology: A case study for the evaluation of the impact of mycorrhization with *Piriformospora indica*. In: Varma A. Oelmüller R. eds., *Advanced Techniques in Soil Microbiology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 319–341.
- Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M., Srivastava, A. (2004). Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: Papageorgiou GC, Govindjee, Eds., *Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis*. Springer, New York 321-362.
- Strasser, R.J. (1988). A concept for stress and its application in remote sensing. In: Lichtenthaler HK (Ed.), *Applications of Chlorophyll Fluorescence*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands 333-337.
- Suguio, K., Martin, L., Dominguez, J.M.L. (1982). A Evolução do “delta” do Rio Doce (ES) durante o Quaternario: Influência das variações do nível do mar. In: Simposio do quaternario no Brasil, 4, Rio de Janeiro, Atas Rio de Janeiro, CrCQ/SBG, 93-116.
- Sun, Z., Huang, Y., Yang, L., Schaefer, V., Chen, Y. (2017). Plantation age, understory vegetation, and species-specific traits of target seedlings alter the competition and facilitation role of Eucalyptus in South China. *Restoration Ecology.*, 25: 749–758.
- Syvertsen, J.P. Lloyd, J.J. Citrus. (1994). In: Schaffer B. Andersen PC. *Handbook of environmental physiology of fruit crops – subtropical and tropical crops*. Boca Raton: CRC Press. 4: 65-100.
- Tabarelli, M., Pinto, L.P., Silva, J.M.C., Hirota, M.M., Bedê, L.C. (2005). Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade.*, 1: 132-138.

Tebaldi, A.L.C., Fiedler, N.C., Juvanhol, R.S., Dias, H.M. (2013). Ações de prevenção e combate aos incêndios florestais nas unidades de conservação estaduais do Espírito Santo. *Floresta e Ambiente.*, 20: 538-549.

Teutli-Hernandez, C., Herrera-Silveira, J.A., Comin, F.E., López, M.M. (2019). Nurse species could facilitate the recruitment of mangrove seedlings after hydrological rehabilitation. *Ecological Engineering.*, 130: 263-270.

Thach, L.B., Shapcott, A., Schmidt, S., Critchley, C. (2007). The OJIP fast fluorescence rise characterizes Graptophyllum species and their stress responses. *Photosynthesis Research.*, 94: 423-436.

Thomazi, R.D., Rocha, R.T., Oliveira, M.V., Bruno, A.S., Silva, A.G. (2013). Um panorama da vegetação das restingas do Espírito Santo no contexto do litoral brasileiro. *Natureza online.*, 11: 1-6.

Torroba-Balmori, P., Zaldívar, P., Alday, J.G., Fernández-Santos, B., Martínez-Ruiz, C. (2015). Recovering Quercus species on reclaimed coal wastes using native shrubs as restoration nurse plants. *Ecological Engineering.*, 77: 146–153.

Tsuda, E.T. Castellani, T.T. (2016). *Vriesea friburgensis*: A natural trap or a nurse plant in coastal sand dunes?. *Austral Ecology.*, 41: 273–281.

Urretavizcaya, M. Defossé, G. (2013). Effects of nurse shrubs and tree shelters on the survival and growth of two *Austrocedrus chilensis* seedling types in a forest restoration trial in semiarid Patagonia. Argentina. *Annals of Forest Science.*, 70: 21-30.

Vieira, I.R., de Araújo, F.S., Zandavalli, R.B. (2013). Shrubs promote nucleation in the Brazilian semi-arid region. *Journal of Arid Environments.*, 92: 42-45.

Witkowski, E.T.F. Lamont, B.B. (1991). Leaf specific mass confounds leaf density & thickness. *Oecologia.*, 88: 486-493.

Yusuf, M.A., Kumar, D., Rajwanshi, R., Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M., Govindjee. Sarin, N.B. (2010). Overexpression of gamma-tocopherol methyl transferase gene in

transgenic *Brassica juncea* plants alleviate abiotic stress: physiological and chlorophyll fluorescence measurements. *Biochim. Biophys. Acta Bioenerg.*, 1797: 1428-1438.

Zaluar, H.L.T. Scarano, F.R. (2000). Facilitação em restingas de moitas: Um século de buscas por espécies focais In: Esteves FA. Lacerda LD (eds.) Restingas: Origem. Estrutura e Processos. Macaé (RJ): NUPEM/UFRJ.

Zamith, L.R., Scarano, F.R. (2006). Restoration of a Restinga sandy coastal plain in Brazil: survival and growth of planted woody species. *Restor. Ecology.*, 14: 87 – 94.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desta tese contribui com dados importantes sobre o tema da facilitação e sua aplicação em projetos de restauração ambiental. O estudo permitiu uma melhor compreensão dos processos de facilitação e destacou a importância de avaliar e mensurar adequadamente os parâmetros relevantes em projetos nessa área. O conhecimento do ambiente e das condições climáticas permitem verificar as respostas das espécies facilitadoras e facilitadas. Entende-se que a presença de um indivíduo facilitador modifica positivamente a dinâmica de um determinado ambiente.

A presença de espécies facilitadoras tem o potencial de modificar positivamente a dinâmica de um determinado ambiente. Portanto, ao desenvolver projetos de restauração ambiental utilizando espécies facilitadoras, é essencial levar em consideração esses parâmetros. A escolha das espécies, as técnicas de plantio e a metodologia aplicada devem ser adaptadas às características específicas de cada área.

Além disso, esse trabalho também contribuiu com dados inéditos sobre a espécie *Aechmea blanchetiana* e confirmou informações mencionadas na literatura, que apontam as bromélias-tanque como facilitadoras em diferentes ambientes. Os resultados obtidos tanto no ambiente natural (aumento da riqueza de espécies e formação de microsítios para germinação) quanto no experimento de campo (redução das condições ambientais adversas e maior crescimento das espécies) confirmaram o papel da bromélia *A. blanchetiana* como uma espécie facilitadora, tornando seu uso recomendado em projetos de restauração ambiental.

Por fim, os resultados dos três capítulos demonstram que os mecanismos de facilitação não ocorrem de maneira uniforme para todas as espécies. Em um ambiente com as mesmas condições ambientais, a facilitação pode ocorrer apenas para um grupo específico de espécies com características particulares.

Esses achados fornecem insights importantes para a compreensão dos processos e padrões de facilitação em ecossistemas naturais, e podem orientar futuros projetos de restauração ambiental visando a maximização dos benefícios proporcionados pelas espécies facilitadoras.

REFERÊNCIAS

- Abd-ElGawad, A.M., Rashad, Y.M., Abdel-Azeem, A.M., Al-Barati, S.A., Assaeed, A.M., Mowafy, A.M. (2020). *Calligonum polygonoides* L. Shrubs Provide Species-Specific Facilitation for the Understory Plants in Coastal Ecosystem. *Biology.*, 9: 232.
- Abiyu, A., Teketay, D., Glatzel, G., Aerts, R., Gratzner, G. (2017). Restoration of degraded ecosystems in the Afromontane highlands of Ethiopia: comparison of plantations and natural regeneration. *Southern Forests.*, 27: 103-108.
- Alday, J.G., Zaldivar, P., Torroba-Balmori, P., Fernandez-Santos, B., Martinez-Ruiz, C. (2016). Natural forest expansion on reclaimed coal mines in Northern Spain: the role of native shrubs as suitable microsites. *Environmental Science and Pollution Research.*, 23: 13606-13616.
- Al-Namazi, A.A., El-Bana, M.I., Bonser, S.P. (2017). Competition and facilitation structure plant communities under nurse tree canopies in extremely stressful environments. *Ecology Evolution.*, 7: 2747–2755.
- Badano, E.I., Samour-Nieva, O.R., Flores, J., Flores-Flores, J.L., Flores-Cano, J.A., Rodas-Ortíz, J.P. (2016). Facilitation by nurse plants contributes to vegetation recovery in human-disturbed desert ecosystems. *Journal of Plant Ecology.*, 9: 485-497.
- Baumeister, D. Callaway, R.M. (2006). Facilitation by *Pinus flexilis* during succession: a hierarchy of mechanisms benefits other plant species. *Ecology.*, 87: 1816–1830.
- Beduschi, T. Castellani, T.T. (2013). Friends or Foes? Interplay of facilitation and competition depends on the interaction between abiotic stress and ontogenetic stage. *Plant Ecology.*, 214: 1487-1492.
- Bertness M. Callaway R.M. (1994). Positive interactions in communities. *Trends in Ecology Evolution.*, 9: 191-193.
- Brançalion, P.H.S., Viani, R.A.G., Rodrigues, R.R., Gandolfi, S. (2015). Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: Martins, S.V. Eds. Restauração ecológica de ecossistemas degradados. Viçosa. Editora UFV. p. 262-291.

Brooker, R.W., Maestre, F.T., Callaway, R.M., *et al.* (2008). Facilitation In Plant Communities: The Past. The Present. And The Future. *Journal Ecology.*, 96: 18-34.

Bruno, J.F., Stachowicz, J.J., Bertness, M.D. (2003). Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in Ecology & Evolution.*, 18: 119-125.

Callaway, R.M. (1995). Positive interactions among plants. *The Botanical Review.*, 61: 306–349.

Callaway, R.M. (2007). Positive interactions and interdependence in plant communities. Dordrecht. Springer. 416p.

Chiariello, N.R., Hickman, J.C., Mooney, H. (1982). Endomycorrhizal role for interspecific transfer of phosphorus in a community of annual plants. *Science.*, 217: 941-943.

Dillenburg, L.R., Waechter, J.L., Porto, M.L. (1992). Species composition and structure of a sandy coastal plain forest in northern Rio Grande do Sul, Brazil. Pp. 349-366. *In:* U. Seeliger (org.). Coastal Plant Communities of Latin America New York, Academic Press.

Duarte, M., Verdú, M., Cavieres, L.A., Bustamante, R.O. (2021). Plant-plant facilitation increases with reduced phylogenetic relatedness along an elevation gradient. *Oikos.*, 130: 248-259.

Filazzola, A., Liczner, A.R., Westphal, M., Lortie, C.J. (2018). The effect of consumer pressure and abiotic stress on positive plant interactions are mediated by extreme climatic events. *New Phytologist.*, 217: 140–150.

Galindo, V., Calle, Z., Chara, J., Armbrecht, I. (2017). Facilitation by pioneer shrubs for the ecological restoration of riparian forests in the Central Andes of Colombia. *Restoration Ecology.*, 25: 731-737.

Garcia-Moya, E. McKell, C. (1970). Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology.*, 51: 81-88.

- Gómez-Ruiz, P.A., Lindig-Cisneros, R., Vargas-Ríos, O. (2013). Facilitation among plants: A strategy for the ecological restoration of the high-andean forest (Bogotá. DC—Colombia). *Ecological Engineering.*, 57: 267-275.
- Hay, J., Lacerda, L.D., Tan, A.L. (1981). Soil cation increase in a tropical sand dune ecosystem due to a terrestrial bromeliad. *Ecology.*, 62: 1392-1395.
- Liancourt, P. Dolezal, J. (2021). Community-scale effects and strain: Facilitation beyond conspicuous patterns. *Journal Ecology.*, 109: 19-25.
- Losapio, G., Schmid, B., Bascompte, J. *et al.* (2021). An experimental approach to assessing the impact of ecosystem engineers on biodiversity and ecosystem functions. *Ecology.*, 102: e03243.
- Lucas, D.S., Oliveira, D.M.P., Carvalho, E.C.D., Soares, A.A., Zandavali, R.B. (2021). Evidence of facilitation between early-successional tree species and the regenerating plant community in a tropical seasonally dry environment. *Austral Ecology.*, 47: 541-556.
- Lyu, L., Zhang, Q., Deng, Z., Makinen, H. (2016). Fine-scale distribution of treeline trees and the nurse plant facilitation on the eastern Tibetan Plateau. *Ecological Indicators.*, 66: 251-258.
- Martinez, M.L. (2003). Facilitation of seedling establishment by an endemic shrub in tropical coastal s& dunes. *Plant Ecology.*, 168: 333–345.
- McIntire, E.J.B. Fajardo, A. (2014). Facilitation as a ubiquitous driver of biodiversity. *New Phytologist.*, 20: 403-416.
- Menezes, L.F.T. Araújo, D.S.D. (2010). Estrutura comunitária e amplitude ecológica do componente lenhoso de uma floresta de restinga mal drenada no sudeste do Brasil. *Acta Botânica Brasílica.*, 3: 825-839.
- Moraes, L.F.D., Campello, E.F.C., Franco, A.A. (2010). Restauração florestal: do diagnóstico de degradação ao uso de indicadores ecológicos para o monitoramento das ações. *Oecologia Australis.*, 14: 437-451.

- Navarro-Cano, J.A., Verdu, M., Garcia, C., Goberna, M. (2015). What nurse shrubs can do for barren soils: rapid productivity shifts associated with a 40 years ontogenetic gradient. *Plant and Soil.*, 388: 197-209.
- O'Brien, M.J., Menezes, M.J., Brathen, L.T., Losapio, G.K.A., Pugnaire, F.I. (2019). Facilitation mediates species presence beyond their environmental optimum. *Perspectives in Plant Ecology. Evolution and Systematics.*, 38: 24-30.
- Peláez, M., Dirzo, R., Fernandes, G.W., Perea, R. (2019). Nurse plant size and biotic stress determine quantity and quality of plant facilitation in oak savannas. *Forest Ecology Management.*, 437: 435–442.
- Perea, R., Cunha, J.S., Spadeto, C. *et al.* (2019). Nurse shrubs to mitigate plant invasion along roads of montane Neotropics. *Ecology Engineering.*, 136: 193–196.
- Pugnaire, F.I., Haase, P., Puigdefabregas, J. (1996). Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology.*, 77: 1420-1426.
- Scarano, F.R. (2002). Structure. Function and Floristic Relationships of Plant Communities in Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest. *Annals of Botany.*, 9: 517-524.
- SER (Society Ecological Restoration), 2019. Disponível em: <https://www.ser-rrc.org/what-is-ecological-restoration/> Acesso em 09 de fevereiro de 2019.
- Temperton, V.M., Hobbs, R.J., Nuttle, T.J., Halle, S. (2004). *Assembly Rules and Restoration Ecology: Bridging the Gap Between Theory and Practice.* Washington DC USA. Island Press. 464p.
- Teutli-Hernandez, C., Herrera-Silveira, J.A., Comin, F.E., López, M.M. (2019). Nurse species could facilitate the recruitment of mangrove seedlings after hydrological rehabilitation. *Ecological Engineering.*, 130: 263-270.
- Thomazi, R.D., Rocha, E.T., Oliveira M.V., Bruno A.S., Silva A.G. (2013). Um panorama da vegetação das restingas do Espírito Santo no contexto do litoral brasileiro. *Natureza on line.*, 11: 1-6.

Thomson, J.D. (1978). Effects of Stand Composition on Insect Visitation in Two-Species Mixtures of Hieracium. *The American Midland Naturalist.*, 100: 431-440.

Tsuda, E.T. Castellani, T.T. (2016). *Vriesea friburgensis*: A natural trap or a nurse plant in coastal sand dunes?. *Austral Ecology.*, 41: 273–281.

Valiente-Banuet, A. Verdú, M. (2013). Plant Facilitation and Phylogenetics. Annual Review of Ecology. *Evolution. and Systematics.*, 44: 347-366.

Vega-Álvarez, J., García-Rodríguez, J.A., Cayuela, L. (2018). Facilitation beyond species richness. *Journal Ecology.*, 107: 722-734.

Wright, A.J., Wardle, D.A., Callaway, R., Gaxiola, A. (2017). The overlooked role of facilitation in biodiversity experiments. *Trends in Ecology and Evolution.*, 32: 383-390.