



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

ALCEMAR JOSÉ GASPARINI JUNIOR

**ECOFISIOLOGIA DE *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze NO  
PROCESSO DE RESTAURAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS EM  
RESTINGA**

VITÓRIA - ES

2021

ALCEMAR JOSÉ GASPARINI JUNIOR

**ECOFISIOLOGIA DE *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze NO  
PROCESSO DE RESTAURAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS EM  
RESTINGA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Biologia Vegetal.

Área de concentração: Fisiologia Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Luis Fernando T. de Menezes

Coorientador: Prof. Dr. Antelmo Ralph Facheto

VITÓRIA - ES

2021

J95e Junior, Alcemar, 1974 -  
ECOFISIOLOGIA DE *Ailagoptera arenaria* (Gomes) Kunze  
NO PROCESSO DE RESTAURAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA  
EM RESTINGA / Alcemar Junior. - 2021.  
129 f. : il.

Orientador: Luis Fernando Tavares de Menezes Menezes.  
Coorientador: Antelmo Ralph Falquetto Falquetto.  
Dissertação (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade  
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e  
Naturais.

1. Ecofisiologia vegetal. 2. Recuperação de áreas degradadas.  
3. Ecologia vegetal. I. Menezes, Luis Fernando Tavares de  
Menezes. II. Falquetto, Antelmo Ralph Falquetto. III.  
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências  
Humanas e Naturais. IV. Título.

CDU: 57

---

# **ECOFISIOLOGIA DE *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze NO PROCESSO DE RESTAURAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS EM RESTINGA**

**ALCEMAR JOSÉ GASPARINI JUNIOR**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Biologia Vegetal na área de concentração Fisiologia Vegetal.

Aprovada em 19 de novembro de 2021.

**Comissão Examinadora:**

**Dr. [Luis Fernando Tavares de Menezes] - UFES**

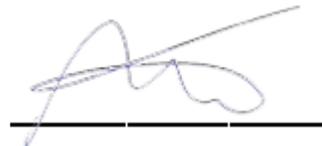
Orientador e Presidente da Comissão

---

**Dr. [Geraldo Rogério Faustini Cuzzuol] - UFES**  
Examinador Interno

---

**Dr.<sup>a</sup> [Valéria de Oliveira Fernandes] - UFES**  
Examinador Interno



---

**Dr. [Marcelo Trindade Nascimento] - UENF**  
Examinador Externo



---

**Dr. [Fabio Antônio Ribeiro Matos] - UFES**  
Examinador Externo



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
LUIS FERNANDO TAVARES DE MENEZES - SIAPE 1290688  
Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas - DCAB/CEUNES  
Em 19/04/2022 às 06:44

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/451694?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
VALERIA DE OLIVEIRA FERNANDES - SIAPE 2206666  
Departamento de Ciências Biológicas - DCB/CCHN  
Em 09/06/2022 às 22:12

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/492865?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
GERALDO ROGERIO FAUSTINI CUZZUOL - SIAPE 1173398  
Departamento de Ciências Biológicas - DCB/CCHN  
Em 10/06/2022 às 08:18

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/492923?tipoArquivo=0>

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me permitir que chegasse até aqui;

Minha família, minha mãe Zilméia e ao meu filho Gabriel Gasparini por me fazerem acreditar que a vida vale a pena todos os dias!!

Agradeço a Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal – PPGBT e ao Centro de Ciências Humanas e Naturais – CCHN/UFES;

Ao Centro Universitário Norte São Mateus – CEUNES/UFES e ao Laboratório de Ecologia de Restinga e Mata Atlântica – LERMA;

PETROBRÁS – Petróleo brasileiro S/A pelo aporte financeiro e técnico e a ANP pelo apoio financeiro;

Aos professores Geraldo Rogério, Camila Milanez, Valéria Fernandes e Diolina Mouro do curso de Pós Graduação em Biologia Vegetal, ao meu orientador Professor Luis Fernando Tavares de Menezes e, ao meu Co-orientador Professor Antelmo Ralph Falqueto, peças fundamentais na construção desse projeto.

Aos colegas de sala, amigos e principalmente aos colegas de laboratório e de campo, Izabela, Marcel, Thalia, Alana, Luana, Stivini, Leo e Vinícios pois sem o apoio de vocês nada disso seria possível.

## RESUMO

A palmeira *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze é uma espécie chave na restauração de restingas, por ser pioneira e ecologicamente facilitadora atenuando o estresse ambiental característico das restingas. Para testar a hipótese de que *A. arenaria* atua como planta facilitadora foi realizado o plantio de mudas das espécies *Dalbergia ecastaphyllum* (L.) Taub (rabo de bugio) e *Eugenia uniflora* L. (pitanga) em duas posições: no interior da moita de *A. arenaria* e em área aberta. Após 1 ano foram verificados: a mortalidade, a biometria, os pigmentos fotossintetizantes e a fluorescência da clorofila *a*. Os dados obtidos foram comparados pelo teste T a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas por meio do software R. Os resultados mostraram que *A. arenaria* atuou, de forma significativa, sobre alguns parâmetros analisados reforçando a hipótese de que essa espécie exerce a facilitação ecológica. Também verificamos o crescimento e as respostas ecofisiológicas dessa palmeira em ambiente natural. Para verificar a hipótese de que no plantio direto na restinga essa palmeira apresenta crescimento lento foram realizadas análises morfofisiológicas em 3 populações com idades diferentes de plantio. O GI, composto por mudas fornecidas pelo viveiro para o plantio (8 meses), O GII, indivíduos provenientes de plantio em campo realizado em 2011 e o GIII, de um plantio realizado em 2014. Os dados foram submetidos a análise de variância ANOVA e comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Para verificar quais componentes estiveram associados a cada grupo foi aplicada a análise de componentes principais (PCA). Todas as análises foram realizadas no software R. Foi observado que em plantio direto em condição de campo o desenvolvimento dessa palmeira é lento. Para testar respostas mais rápidas ao desenvolvimento da planta montamos um experimento com o delineamento em blocos casualizados (DBC) 4x5x6 (quatro blocos, cinco tratamentos e seis repetições) em casa de vegetação. Para testar a hipótese de que o fornecimento de P contribui para a produção de mudas mais robustas e adequadas ao plantio em campo verificamos as respostas morfofisiológicas de mudas de *A. arenaria* a diferentes doses do fertilizante NPK 4.14.8 (Controle: 0g; Tratamento 1: 5g; Tratamento 2: 10g; Tratamento 3: 15g e Tratamento 4: 25g de NPK 4.14.8 por planta/vaso). Os dados foram submetidos a análise de regressão a 5% de probabilidade e comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o software SISVAR. Os resultados mostraram que as doses de 15g e 25g do fertilizante alteraram morfofisiologicamente as plantas produzindo mudas mais robustas e mais aptas a serem utilizadas em plantio de restauração em ambiente natural. Podemos concluir que *A. arenaria* influencia em parâmetros morfofisiológicos de outras espécies crescendo sob sua copa podendo ser

utilizada em plantios de restauração de restinga como nucleadora, apresenta crescimento lento em condições de campo e é beneficiada com a adubação fosfatada o que produz mudas mais desenvolvidas e robustas devendo ser testadas em campo para melhores conclusões.

Palavras chave: Crescimento, facilitação ecológica, fatores abióticos, restauração da paisagem

## ABSTRACT

The *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze palm is a key species in restinga restoration. It is a pioneer species and ecologically considered a facilitator plant promoting the entry and survival of other species that use the environment under its canopy as a filter, attenuating the environmental stress characteristic of restingas. To verify the role of plant facilitating *A. arenaria*, seedlings of the species *Dalbergia ecastaphyllum* (L.) Traub (Rabo de Bugio) and *Eugenia uniflora* L. (Pitanga) were planted in two positions: 1 – Inside the thicket of *A. arenaria* (MOITA) and, 2 – In an open area, without vegetation (OPEN AREA). After 1 year the following parameters were verified: mortality, biometry, biomass, photosynthetic pigments and chlorophyll a fluorescence. The data obtained, in the two planting positions were compared by the T test at 5% probability. The analyzes were performed using the R software. The results indicated that *A. arenaria* significantly influenced the increase of the averages of the parameters analyzed in the bush planting position, confirming the hypothesis that this species exerts ecological facilitation, improving the performance of transplanted seedlings under your cup. Another important aspect is to know how *A. arenaria* grows and develops in a natural environment? To answer this question, we performed morphophysiological analysis on three populations with different planting ages in a natural environment. The restoration planting was used at Degredo beach in Linhares ES, where two plantings were carried out: G II: planting in 2011 (7 years) and, G III: planting in 2014 (4 years). The GI consisted of seedlings provided by the nursery for planting with (8 months). The data were subjected to analysis of variance and compared by the Tukey test at 5% and to verify which components are associated with each group, the PCA (Main Component Analysis) was performed. All were performed using the R software. In condition of the field and without cultural care the development of this palm is very slow and unsatisfactory to meet the objectives of a restoration project, we suggest the use of forestry treatments so that the plants present a better development. An experiment in DBC 4x5x6 (four blocks, five treatments and six repetitions) in a greenhouse to verify the morphophysiological responses of *A. arenaria* seedlings to different doses of fertilizer NPK 4.14.8 (Control : 0g; Treatment 1: 5g; Treatment 2 : 10g; Treatment 3: 15g and Treatment 4: 25g of NPK 4.14.8 per plant / pot). The regression analysis at 5% probability and by the Tukey test at 5% probability performed in the SISVAR software. It shows that altered the physiologically morph plants, producing more robust and more suitable seedlings to be used in restoration planting in a sandbank environment. We can conclude that *A. arenaria* is a plant that can be used in restinga restoration plantations, has slow growth in the field and

benefits from phosphate fertilization, which produces more developed and robust seedlings.

Keywords: Growth, ecological facilitation, abiotic factors, landscape restoration.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1 – Localização da área de estudo, praia de Cacimbas no município de Linhares, ES (latitude -19.479442° e longitude -39.736216°). .....43
- Figura 2: Médias da temperatura e da pluviosidade na região de Linhares. Série histórica 1975-2013). P, precipitação média; T, temperatura média (Saiter, F.Z. *et al.*, 2017). .....43
- Figura 3: Esquema de plantio, mudas na posição moita ocupam a porção mediana e em área aberta ceca de 60 cm de distância da borda da moita. Restinga de Degredo, Linhares, ES. ....44
- Figura 4: A – Indivíduos de *Eugenia uniflora* L na posição MOITA; B - Indivíduo de *D. ecastaphyllum* (L) Taub. na posição ÁREA ABERTA. Cacimbas, Linhares, ES.....45
- Figura 5: Comparação da mortalidade nas duas posições de plantio. *D. ecastaphyllum* (L) Taub. (p-valor = 7.97e-16 \*\*\*); *E. uniflora* L. (p-valor = 4.032e-14 \*\*\*)(n=30).....52
- Figura 6: Intensidade transiente de fluorescência da Clorofila a em folhas adaptadas ao escuro, medidas em duas espécies: A - *D. ecastaphyllum* (L.) Taub. e, B- *E. uniflora* (L.), Cacimbas, Linhares, ES.....52

### CAPÍTULO II

- Figura 1 – Localização da área de estudo, praia de Cacimbas no município de Linhares, ES (latitude -19.479442° e longitude -39.736216°). .....72
- Figura 2: Médias da temperatura e da pluviosidade na região de Linhares. Série histórica 1975-2013). P, precipitação média; T, temperatura média (SAITER, F. Z. *et al.*, 2017).....77
- Figura 3: Intensidade transitória de fluorescência da Clorofila a em folhas de *Allagoptera arenaria* adaptadas ao escuro.....78
- Figura 4: Análise de Componentes Principais (PCA) para o quociente de robustez (QR), massa seca da parte subterrânea (MSPsub) e da parte aérea (MSPae), a razão entre a massa subterrânea e a massa aérea (R. MSub.Mae), a massa foliar por área foliar (MFA), a máxima eficiência fotoquímica do FSII ( $F_v/F_m$ ), o fluxo de energia de absorção de elétrons por centro de reação (ABS/RC), de captura de elétrons ( $TR_o/RC$ ), de transporte de elétrons (EToRC) e de dissipação de energia ( $DI_o/RC$ ).....79

### CAPÍTULO III

- Figura 1: A - Esquema representativo do delineamento experimental em blocos casualizados DBC; B – Detalhe da parcela; C – Aplicação do NPK 4.14.8 no substrato. Casa de vegetação Universidade Federal do Espírito Santo CEUNES/UFES, São Mateus, ES.....99
- Figura 2: Aspecto geral das mudas desenvasadas após 1 ano. A – Controle; B – 5g de NPK 4.14.8 por planta; C - 10g de NPK 4.14.8 por planta; D - 15g de NPK 4.14.8 por planta; E – 25g de NPK 4.14.8 por planta.....103

Figura 3: Efeito do P sobre a intensidade transitória de fluorescência da Clorofila a em folhas de *A. arenaria*, adaptadas ao escuro.....103

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Tabela 1: Altura (H cm), diâmetro do coleto (DC mm), número de folhas (NF und.) e o quociente de robustez (QR) para as duas posições de plantio, Cacimbas, Linhares, ES.....48

Tabela 2: Peso seco da raiz (PSR g), peso seco da parte aérea (PSPA g), peso seco total (PST g) e a razão entre a raiz e a parte aérea (R/PA), Cacimbas, Linhares, ES.....49

Tabela 3: Espessura foliar (ESP mm), suculência (SUC g/m<sup>2</sup>), massa foliar por área (MFA g/m<sup>2</sup>) e o conteúdo relativo de água (CRA %), Cacimbas, Linhares, ES.....50

Tabela 4: Carotenoides (Car), Clorofila b (Clo b), Clorofila a (Clo a), Clorofila total (Clo T) e a razão entre a Clorofila a/b (Clo a/b), Cacimbas, Linhares, ES.....50

Tabela 5: Fluorescência basal (F<sub>0</sub>), Fluorescência máxima (F<sub>M</sub>), máxima eficiência fotoquímica (F<sub>V</sub>/F<sub>M</sub>), Cacimbas, Linhares, ES. ....52

Tabela 6: fluxo específico de energia por centro de reação: ABS/RC – fluxo de absorção; TR<sub>0</sub>/RC – fluxo de energia capturada; ET<sub>0</sub>/RC – fluxo de transporte de elétrons; DI<sub>0</sub>/RC – fluxo de dissipação de elétrons, Cacimbas, Linhares, ES.....52

### CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Altura (H), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF) e o quociente de robustez (QR), em populações de *Allagoptera areanaria* com diferentes idades. ....76

Tabela 2 – Massa seca da raiz (MSR), do caule (MSC), da folha (MSF) e massa seca total (MS T), massa seca da parte subterrânea (PS Psub (g), massa seca da parte aérea (PS Pae g), razão entre a massa seca da parte subterrânea e aérea (MSPsub/MSPae). ....76

Tabela 3 - Espessura (ESP), suculência (SUC), massa foliar por área foliar (MFA), índice de esclerofilia (IE); conteúdo relativo de água (CRA). ....77

Tabela 4: Pigmentos fotossintetizantes: Carotenóides; Clorofila b (Clor. b); Clorofila a (Clor. a). ....77

Tabela 5: Fluorescência basal mínima (F<sub>0</sub>); Fluorescência máxima (F<sub>M</sub>); Máxima eficiência fotoquímica do FSII (F<sub>V</sub>/F<sub>M</sub>). ....78

Tabela 6: Fluxo de energia de absorção de elétrons (ABS/RC), de capturada (TR<sub>0</sub>/RC), de transporte (ET<sub>0</sub>/RC) e de dissipação de energia (DI<sub>0</sub>/RC). ....78

### CAPÍTULO 3

Tabela 1: Efeito do P sobre a altura (H cm), diâmetro do coleto (DC mm), número de folhas (NF und), o quociente de robustez (QR) e a área foliar específica (AFE cm <sup>2</sup> /g), área foliar específica (AFE). .....	102
Tabela 2: Efeito do P sobre o peso seco da raiz (PS Raiz), do caule (PS Caule), da folha (PS Folha), peso seco total (PS Total) e a razão entre a parte subterrânea e a parte aérea (R. PSb/PA). .....	103
Tabela 3 - Carotenoides (Car - mg.g <sup>-1</sup> /MF), Clorofila b (Clo <i>b</i> - mg.g <sup>-1</sup> /MF), Clorofila a (Clo <i>a</i> - mg.g <sup>-1</sup> /MF), Clorofila total (Clo T - mg.g <sup>-1</sup> /MF) e a razão entre a Clorofila <i>a/b</i> (Clor <i>a/b</i> ). .....	104
Tabela 4 – Efeito do fósforo sobre a F <sub>0</sub> : Fluorescência basal, F <sub>M</sub> : Fluorescência máxima e a F <sub>V</sub> /F <sub>M</sub> = máxima eficiência fotoquímica em mudas de <i>A. arenaria</i> .....	105
Tabela 5 – Influência do P sobre o fluxo específico ou atividade expressas por centro de reação: ABS/RC – fluxo de absorção; TR <sub>0</sub> /RC – fluxo de energia capturada; ET <sub>0</sub> /RC – fluxo de transporte de elétrons; DI <sub>0</sub> /RC – fluxo de dissipação de elétrons em mudas de <i>A. arenaria</i> .....	105

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. OBJETIVO GERAL.....	5
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	6
4.1 Restauração Ecológica.....	6
4.2 Facilitação Ecológica.....	10
4.3 Crescimento vegetal .....	94
4.4 Nutrição Vegetal .....	17
4.5 Referências Bibliográficas .....	20
CAPITULO 1 – ALLAGOPTETA ARENARIA (GOMES) KUNTZE MELHORA A RESPOSTA DE CRESCIMENTO E RECRUTAMENTO SOB SUA COPA EM AMBIENTE DE RESTAURAÇÃO DE RESTINGA.....	35
RESUMO .....	36
ABSTRACT.....	38
1. INTRODUÇÃO .....	40
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	43
2.1. Área de Estudo .....	43
2.2. Materiais.....	44
2.3. Método .....	45
2.4. Delineamento experimental e análise estatística .....	47
3. RESULTADOS .....	48
3.1 Mortalidade .....	48
3.2 Biometria .....	48
3.3 Atributos Foliares .....	49
3.4 Pigmentos Fotossintetizantes .....	50
3.5 Fluorescência da Clorofila a.....	50
4. DISCUSSÃO.....	53
5. CONCLUSÕES .....	58
6. REFERÊNCIAS.....	59
CAPITULO 2 – DINÂMICA DE CRESCIMENTO DE ALLAGOPTERA ARENARIA (GOMES) KUNTZE (ARECACEAE) EM UMA CRONOSEQUÊNCIA DE PLANTIOS EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO DE RESTINGATÍTULO.....	66
RESUMO .....	67



3.3 <i>Fluorescência da Clorofila a</i> .....	105
4. DISCUSSÃO .....	106
5. CONCLUSÕES .....	109
6. REFERÊNCIAS.....	110

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Nas restingas que ocorrem entre os estados de Pernambuco e São Paulo, *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze, uma palmeira de estipe subterrâneo, é comum nas formações vegetais deste ecossistema (ARAUJO & HENRIQUES, 1984). Sua ocorrência, muitas vezes de forma adensada, chamou a atenção dos primeiros fitogeógrafos que buscaram classificar e denominar os diferentes tipos vegetacionais costeiros (ULE, 1901). De fato, praticamente em todo o trecho do litoral entre Pernambuco e São Paulo, *A. arenaria* caracteriza a formação vegetal arbustiva fechada não inundável devido a sua densidade (MENEZES & ARAÚJO, 2005).

Desde o início da década de 2000 vários estudos nas restingas do sudeste brasileiro apontaram *A. arenaria* como sendo uma espécie pioneira, capaz de colonizar áreas abertas das restingas, apresentando altas taxas de recrutamento em solo nu (ZALUAR & SCARANO, 2000; SCARANO et al., 2004; ARAÚJO et al., 2004; CARVALHO et al., 2014; MENEZES et al., 2017). Devido a esta condição, estudos ecológicos, do ponto de vista da teoria da facilitação (BERTNESS & CALAWAY, 1994), tem sugerido que esta espécie desempenha papel importante nos processos de sucessão secundária, devido ao alto recrutamento abaixo de sua copa (ZALUAR & SCARANO, 2000; SCARANO et al., 2004). Essa condição de facilitar o estabelecimento de outras espécies tem sido correlacionada à algumas características ecológicas que a espécie possui. Populações de *A. arenaria* enriquecem o solo através do aumento de matéria orgânica proveniente da senescência de suas folhas, potencializando o acúmulo de nutrientes no solo sob sua copa além de propiciar um microclima colaborando para o estabelecimento de outras espécies vegetais (MENEZES & ARAUJO, 2000). Entretanto, o entendimento dos mecanismos ecofisiológicos envolvidos continuam obscuros. Dessa forma, neste estudo, procuramos entender a dinâmica de crescimento e o papel ecológico da palmeira *A. arenaria* nos processos de restauração de restingas tendo como base o seu papel como planta facilitadora.

A restauração ecológica é conceituada segundo a Society for Ecological Restoration (SER, 2004) como a “ciência, prática e arte de auxiliar e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos

processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais”. Já o SNUC (Lei: 9.985/2000) define restauração como sendo a “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível de sua condição original”.

O litoral brasileiro possui extensão de quase 9.000 km de extensão (Brasil - MMA, 2016), dos quais cerca de 5.000 km são cobertos por vegetação de restinga. Entre estudos de restauração em ecossistema de restinga se destacam os realizados em Florianópolis, SC (BECHARA, 2003); em São Vicente, SP (FIDALGO et al., 2009); no Parque Natural Municipal de Marapendi, RJ (ZAMITH & SCARANO, 2010); no Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição (ZANELLA et al., 2010); no Parque Estadual de Itaúnas, ES (CORREIA & CREPALDI, 2011); no Parque Municipal da Lagoa do Peri, SC (GERZSON et al., 2012); em São João da Barra, Rio de Janeiro na RPPN fazenda Caruara (LOUREIRO et al., 2021). É importante considerar que a restauração em áreas de restinga é conhecidamente viável, quando utilizadas as práticas adequadas e ZAMITH & SCARANO (2006), comprovaram o potencial de restauração em área degradada de restinga no Rio de Janeiro. SCARANO (2002) e DIAS et al., (2005), sugerem que o funcionamento e estrutura da restauração estejam baseados em espécies facilitadoras, devido à dificuldade na germinação de sementes na areia.

Neste sentido, no primeiro capítulo deste estudo, verificamos a hipótese de que *A. arenaria* atua como planta facilitadora, melhorando o crescimento e desenvolvimento de outras espécies vegetais nativas em área degradada de restinga.

Alguns padrões frequentemente descritos para *A. arenaria* são o alto recrutamento sobre a areia nua, dominância do dossel, posição central em moitas em vegetações que se organizam desta forma e associação espacial positiva com plântulas de outras espécies (ZALUAR & SCARANO, 2000; GESSLER et al., 2008), sugerindo seu papel como espécie facilitadora. Modificações ambientais abaixo da copa de *A. arenaria* reforçam essa hipótese de papel facilitador desta planta, ao revelar que ocorre enriquecimento de nutrientes no solo devido ao acúmulo de matéria orgânica oriunda da decomposição das folhas da própria planta. Além disto, ocorre a diminuição da temperatura no solo e no ar e redução da intensidade do vento, propiciando um microclima mais adequado às condições

de germinação e desenvolvimento de outras espécies (MENEZES & ARAÚJO, 2000; SCARANO et al., 2004; CARVALHO et al., 2014). Alguns estudos (ZALUAR & SCARANO, 2000; MENEZES & ARAÚJO, 2000; SCARANO et al., 2004; GESSLER et al., 2008; CARVALHO et al., 2014; BROGGIO, 2015) já mostraram associação natural positiva de outras espécies à moita de *A. arenaria* contudo, é a primeira vez que se realiza um plantio intencional sob a sua copa, como forma de testar o seu papel facilitador.

No segundo capítulo verificamos a hipótese de que o plantio direto de *A. arenaria* na formação aberta não inundável na restinga apresenta limitação no crescimento devido das condições ambientais. Nas restingas, o crescimento vegetal pode ser influenciado por diversos fatores, sendo as condições ambientais e ecológicas determinantes neste processo. Tratamos dos aspectos relacionados às respostas de crescimento dessa palmeira em seu ambiente natural através da análise de uma cronsequencia de plantios.

Os princípios e as práticas da análise quantitativa do crescimento vegetal têm como objetivo descrever e interpretar o desempenho de determinada espécie em condições de ambiente natural ou controlado, ao longo de um período de tempo (HUNT, 1990) e o crescimento vegetal pode ser mensurado de diversas formas. Aspectos como a altura, diâmetro, número de partes ou órgãos da planta (crescimento linear) ou acúmulo de fitomassa são amplamente utilizados em diversos trabalhos sobre o tema (BLACKMAN, 1919; BRIGGS, et al., 1920; WATSON, 1952). Atualmente, outros aspectos como os atributos foliares também são utilizados para mensurar o crescimento vegetal devido ao reconhecimento do significado funcional das características foliares, tais como a massa da folha por unidade de área (MFA) (REICH et al., 1992), suculência (SUC) (KLUGE & TING, 1978) e a espessura da lâmina foliar (ESP) (WITKOWSKI & LAMONT, 1991). Ainda neste contexto, as avaliações ecofisiológicas como quantificação de pigmentos fotossintetizantes e a mensuração da fluorescência da Clorofila *a* nos permitem inferir sobre o potencial fotossintético das plantas e, conseqüentemente, sobre o seu crescimento, além de revelar aspectos da sua adaptabilidade a diversos ambientes (PORRA et al., 1989; CHAPPELLE & KIM, 1992).

De um modo geral, as restingas apresentam características ambientais extremas, como alta incidência luminosa, altas temperaturas do solo e do ar,

solos instáveis e oligotróficos, alta incidência de vento e baixa disponibilidade hídrica (HENTCHEL, 2008). Assim, recursos que seriam destinados ao crescimento e desenvolvimento da planta são remobilizados para atenuarem tais condições que limitam a sobrevivência da planta. Baseado nisto, propomos verificar o comportamento morfofisiológico da planta em condições naturais e testamos as respostas do crescimento de três populações de *A. arenaria* com idades de plantio diferentes. A busca de mudas mais robustas e que possam responder de forma eficiente ao crescimento em condições de campo é uma necessidade eminente para implementação e sucesso de projetos de restauração em restinga.

Na tentativa de buscar soluções para melhorar as respostas de crescimento de *A. arenaria* no terceiro capítulo testamos a hipótese de que o uso do fertilizante NPK 4.14.8 produz mudas mais robustas para serem utilizadas em plantio de recuperação de área degradada.

A baixa disponibilidade de nutrientes tem sido um dos principais fatores a limitar o crescimento das plantas nas regiões tropicais. Entre os nutrientes, o fósforo (P) é um dos que tem merecido maior preocupação, em razão da sua baixa disponibilidade natural na maioria dos solos brasileiros (MENDES, 2012). Daí a importância de se desenvolver estudos visando verificar os efeitos da adubação fosfatada sobre o crescimento das plantas. Neste contexto o terceiro capítulo deste trabalho procurou verificar as respostas morfofisiológicas e de crescimento de *A. arenaria* em relação a diferentes doses do fertilizante NPK 4.14.8 em ambiente controlado (casa de vegetação).

## **2. OBJETIVO GERAL**

Verificar se *A. arenaria* exerce papel facilitador sobre outras espécies nativas utilizadas em plantio de restauração em áreas de restinga, aumentando o *fitness*

destas e sua capacidade de crescimento e desenvolvimento em diferentes condições nutricionais.

### **3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1 - Vetrificar a influencia de *A. arenaria* na sobrevivência na biometria e na morfofisiologia de mudas de *Dalbergia ecastaphyllum* (L.) Taub. e *Eugenia uniflora* L. plantadas no interior da moita de *A. arenaria*;

2 – Avaliar o crescimento de *A. arenaria* através da análise de parâmetros biométricos e morfofisiológicos em três populações em uma cronosequencia de plantios em ambiente natural;

3 - Analisar as respostas no crescimento e na morfofisiologia da adubação fosfatada de mudas de *A. arenaria* em casa de vegetação.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Restauração Ecológica

A restauração ecológica é entendida como um método de reverter ou mitigar parte dos impactos causados por ações humanas (VALIKCHALI et al., 2014). Pode ser definida como o processo de recuperação de um ecossistema que sofreu algum distúrbio, dano ou degradação (SER, 2020). Ao se planejar a restauração, deve-se considerar a estratégia a ser empregada (BRANCALION et al., 2015). A estratégia de restauração passiva aguarda o retorno espontâneo de um ecossistema através da regeneração natural (CHAZDON, 2012). Já a restauração ativa exige uma ação humana direta, como, por exemplo, plantio de mudas ou sementes. Esta estratégia ativa pode ser financeiramente inviável quando se trata de larga-escala e, por isso, o potencial da regeneração natural deve ser aproveitado quando as condições econômicas e ecológicas forem favoráveis (CHAZDON & GUARIGUATA, 2016; CHAZDON & URIARTE, 2016; RODRIGUES et al., 2016; LOUREIRO, 2021).

A Mata Atlântica brasileira possui, atualmente, 12,5% de sua cobertura original (SOS Mata Atlântica, 2021) e está localizada na zona costeira, uma das regiões mais alteradas do planeta. No Brasil, se distribui desde a foz do rio Oiapoque até à foz do rio Chuí, ocorrendo também no Atol das Rocas, nos arquipélagos de Fernando de Noronha, de São Pedro e São Paulo e das ilhas de Trindade e Martin Vaz (MMA, 2010), sendo as restingas um dos seus ecossistemas associados.

O termo restinga tem significados diversificados, aqui adotaremos um sentido amplo, que engloba as restingas como parte do Complexo Vegetacional Atlântico (SCARANO, 2002). Sua cobertura vegetal ocorre em mosaicos, podendo ser encontrada sobre diferentes feições ao longo da costa, tais como praias, cordões arenosos, planícies costeiras, esporões ou pontais arenosos, barreiras arenosas, dentre outras feições geomorfológicas (SOUZA et al., 2008). Este mosaico, expresso pela vegetação, sofre forte influência das características químicas, físicas e biológicas dos solos (RODRIGUES, 2016). SATO et al., (2013), mostraram que, para seis áreas de restinga no litoral paulista, os solos apresentaram elevada acidez, com pH variando entre 3,5 a 4,0 para 0,20 até 0,60 m de profundidade e 3,5-3,7 para profundidade de 0,05 a 0,20 m. As condições

de solo e clima das restingas são consideradas desfavoráveis para muitas espécies, porém com o tempo algumas delas foram se aclimatando às condições da costa (RODRIGUES, 2016).

A instalação e expansão de empreendimentos no litoral sempre foi uma realidade, e são destinados a usos diversos. A pressão antrópica em áreas de restingas resulta em degradação ou devastação da vegetação, induzindo à perda da biodiversidade local. ROCHA et al., (2007), indicaram que além da especulação imobiliária existem ainda alguns fatores que aumentam a degradação das restingas. São eles: remoção da vegetação para construção de estradas, avenidas costeiras, ruas, calçadas; pisoteio da vegetação para acessar áreas de praias; tráfego de veículos na vegetação ou nas dunas; remoção da vegetação para estabelecer áreas de esporte e trailers comerciais (quiosques); substituição do substrato original por outro não favorável à flora de restinga; jogar lixo na vegetação; queima de partes da vegetação devido às práticas religiosas; destruição da vegetação devido a manobras militares; remoção seletiva de espécies de interesse econômico da flora nativa.

Segundo ZANELLA et al., (2010), projetos de restauração têm como objetivo provocar o processo natural de sucessão para que a vegetação seja, em termos de fisionomia e composição florística, próxima à vegetação característica do local. A vegetação será acompanhada pelo retorno de animais e outros organismos para o ambiente e pode levar a um processo de desenvolvimento do ecossistema (LUBKE & AVIS, 1998). O termo “restauração”, portanto, deve ser empregado quando o objetivo é propiciar os serviços ambientais que eram oferecidos antes da degradação da área (PRIMACK & RODRIGUES, 2001).

Vários modelos de restauração foram e vêm sendo utilizados a partir de diferentes compreensões sobre os processos ecológicos. REIS & BECHARA, (2006), explicam que, de início era desenvolvido um modelo produtivista, com visão quantitativa, onde se priorizava a produção de biomassa vegetal, não atentando para as fases iniciais de sucessão. Posteriormente, a partir de uma visão conservacionista, passou-se a priorizar a diversidade vegetal a curto prazo; a riqueza e densidade vieram a ser os principais parâmetros a serem mensurados. Atualmente, contudo, a abordagem ocorre a partir de modelos de conservação da biodiversidade, da biofuncionalidade e de resgate de interações

entre organismos e o ecossistema, de modo a aumentar a possibilidade de sucessão e permitir a ocorrência de fenômenos naturais (REIS & BECHARA, 2006)

Entre estudos de restauração em restinga realizados destacam-se o de: BECHARA (2003), em Florianópolis, SC; ZAMITH & SCARANO (2010), no Parque Natural Municipal de Marapendi, RJ; FIDALGO et al., (2009), em São Vicente, SP; ZANELLA et al., (2010), no Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição; CORREIA & CREPALDI, (2011); no Parque Estadual de Itaúnas, ES; GERZSON et al., (2012); ALVES et al., (2012) e TOMAZI et al., (2012), no Parque Municipal da Lagoa do Peri, SC; em São João da Barra na RPPN Fazenda Caruara (LOUREIRO, 2021). É importante considerar que a restauração em áreas de restinga é conhecidamente viável, quando utilizadas as práticas corretas. ZAMITH & SCARANO, (2006) comprovaram o potencial de restauração em área degradada de restinga no Rio de Janeiro. SCARANO (2002) e DIAS et al., (2005) sugerem que o funcionamento e estrutura da restauração estejam baseados em espécies facilitadoras, devido à dificuldade na germinação de sementes na areia.

Alguns estudos sobre os processos de revegetação e restauração de áreas degradadas, consideream como estratégia eficaz as interações bióticas positivas entre espécies vegetais (CORTINA et al., 2011; GÓMEZ-RUIZ et al., 2013; BADANO et al., 2016; LYU et al., 2016; AL-NAMAZI et al., 2017; FILAZZOLA et al., 2018; VEGA-ÁLVASREZ et al., 2018; O'BRIEN et al., 2019; PELÁEZ et al., 2019). Importante observar que alguns estudos evidenciam que o indivíduo facilitador pode reduzir o estresse de fatores abióticos, como temperatura, luminosidade e umidade (PUGNAIRE et al., 2011), tornando o solo mais nutritivo e modificando positivamente a comunidade e o ecossistema (BAUMAN et al., 2012; TORROBA-BALMORI et al., 2015; SUN et al., 2017). Um ponto de atenção em relação ao processo do uso de espécies facilitadoras para o processo de restauração é que estas poderiam favorecer o desenvolvimento de espécies invasoras o que foi negado pelo trabalho de PEREA et al., (2019).

A partir do momento em que restaurar a diversidade biológica tornou-se uma preocupação, o restabelecimento de espécies e de comunidades passou a ser uma das principais metas dos projetos, nos quais os esforços são convergidos

para o restabelecimento da diversidade, da composição e da estrutura da vegetação e das funções do ecossistema (PRIMACK & RODRIGUES, 2001). Segundo ALBUQUERQUE et al., (2010), a restauração de uma área pode ser realizada através da condução da regeneração natural de espécies nativas e sementeira, estacas ou mudas de espécies nativas.

#### *4.2 Facilitação Ecológica*

Em uma comunidade vegetal, a presença de uma planta pode beneficiar o estabelecimento de outras espécies embaixo de sua copa de diferentes formas, dentre elas melhorando a germinação, sobrevivência e crescimento. Este processo de facilitação é definido como uma relação positiva entre dois ou mais organismos, onde pelo menos um destes é beneficiado (BERTNESS & CALLAWAY, 1994). Os efeitos da facilitação já foram registrados em diversos ecossistemas, porém são mais facilmente observados em extremos ambientais como ambientes áridos, alagados e alpinos (CALLAWAY & WALKER, 1997). Em um estudo sobre a estrutura de comunidades em diferentes ambientes/ecossistemas da Mata Atlântica, como brejos, restingas e campos de altitude SCARANO, (2002) apontou que as interações positivas apresentam um papel importante na estruturação e funcionamento de diferentes comunidades da Mata Atlântica.

As espécies beneficiadoras, também conhecidas como plantas berçário ou nurse plants (NIERING et al., 1963), são comuns em ambientes áridos onde amenizam as altas temperaturas pela diminuição da radiação direta, aumentando a umidade e a disponibilidade de água no solo sob sua copa, o que favorece o crescimento de outras espécies sob sua influência (PADILLA & PUGNAIRE, 2006). Alguns trabalhos foram realizados para avaliar o potencial de facilitação de algumas espécies vegetais por apresentarem peculiaridades e potencial para propiciar a formação de ambientes mais favoráveis para o crescimento e desenvolvimento de outras espécies (ZALUAR & SCARANO, 2000; SCARANO, 2002; ROCHA et al. 2015).

Segundo o modelo de sucessão ecológica guiado por facilitação, a vegetação inicial estabelecida pode favorecer o estabelecimento de novos indivíduos na comunidade. Assim, o crescimento de plântulas e juvenis de estágios de regeneração considerados mais tardios é influenciado pelas modificações

ambientais causadas pelas espécies desenvolvidas nos estágios iniciais de sucessão (CONNELL & SLATYER, 1977). Outras plantas podem atuar como nucleadoras do processo sucessional promovendo o desenvolvimento de manchas de vegetação, favorecendo a chegada de propágulos e o recrutamento de diversas espécies sob sua copa (YARRANTON & MORRISON, 1974).

Os mecanismos de facilitação são tradicionalmente explicados pela ação de efeitos diretos e indiretos da planta beneficiadora sobre as beneficiadas. Os efeitos diretos são considerados aqueles nos quais a planta interfere diretamente nos recursos ou condições de outras. Estes efeitos incluem o sombreamento, redução da perda de calor sob a copa no inverno, aumento de disponibilidade de água no solo, oxigenação do solo e proteção mecânica contra o vento. Já entre os efeitos indiretos, onde os benefícios são intermediados por outros organismos, pode-se destacar o aumento das chances de polinização das beneficiadas e o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo pela associação com micorrizas e bactérias (BERTNESS & CALLAWAY, 1994; CALLAWAY & WALKER, 1997; CALLAWAY & PUGNAIRE, 1999; CALLAWAY, 2007; BROOKER et al., 2008; CASTANHO et al., 2015).

A influência da facilitação depende de fatores como a história de vida e o estágio de desenvolvimento dos organismos beneficiados, pois o balanço entre facilitação e competição pode oscilar em diferentes estágios de vida da planta beneficiada. Assim, é comum encontrar espécies que se comportam como beneficiadas quando são jovens, mas se tornam competidoras quando amadurecem (ARMAS & PUGNAIRE, 2009). Em relação ao hábito de vida, arbustos e árvores oferecem mais efeitos positivos, especialmente sobre outras espécies arbóreas, sendo a facilitação predominante em ambientes dominados por indivíduos lenhosos e sem a presença de herbáceas (CALLAWAY, 1995; GOMEZ, 2009).

A severidade dos ambientes também influencia o balanço das interações de facilitação entre plantas. Segundo a Hipótese do Gradiente de Estresse (HGE), espera-se que, com o aumento da severidade ambiental, aumente também o potencial e a força das interações positivas entre as espécies, substituindo gradualmente as interações negativas (BERTNESS & CALLAWAY, 1994), onde um aumento nos níveis de estresse físico aumentaria os níveis de facilitação na

comunidade. Estudos que examinaram a existência deste padrão ao longo de gradientes de estresse, mostraram que quanto maior a altitude, menor a temperatura ou menor a disponibilidade de água em um ambiente, maior é a frequência de interações de facilitação (CALLAWAY et al., 2002; SCHÖB et al., 2013).

Recentemente, alguns estudos vêm reforçando a ideia de que as espécies vegetais facilitadoras modificam a microbiota do solo pela relação com sua rizosfera. Ao mesmo tempo, sabe-se que os microrganismos influenciam a produtividade das espécies e a disponibilidade de nutrientes no solo. Portanto, a presença de arbustos facilitadores pode gerar uma mudança na comunidade de bactérias e fungos no local onde estas se estabelecem (HORTAL et al., 2013). Sob manchas formadas por arbustos maiores, a biomassa da microbiota aumenta e sua composição difere em manchas menores. Com isso, a maior abundância, crescimento e reprodução das plantas beneficiadas pode decorrer de sua relação direta com esta microbiota do solo alterada pela presença da planta facilitadora, influenciando a riqueza e diversidade da comunidade vegetal local, até dos ecossistemas (RODRÍGUEZ-ECHEVERRÍA et al., 2013).

CASTANHO et al., (2015), em uma revisão sobre estudos de facilitação em dunas costeiras, mostraram que o crescimento de espécies que se estabelecem sob a copa de outras é maior se comparado com o crescimento em áreas expostas. Alguns estudos citados nesta revisão mostraram que a facilitação em dunas costeiras depende das condições ambientais e do gradiente de estresse, sendo mais comuns em níveis mais altos de estresse ambiental. Outros estudos apontam que a facilitação depende do estágio de desenvolvimento e da forma de vida dos indivíduos, sendo as espécies arbóreas as beneficiadoras mais comuns e os indivíduos arbóreos jovens mais comumente facilitados.

A facilitação em restingas no litoral brasileiro pode ser ilustrado pela espécie *Clusia hilariana* Schlttdl. Esta espécie desempenha um papel de planta berçário por apresentar uma distribuição positivamente associada a juvenis de outras espécies de plantas lenhosas. Aliada à atratividade de potenciais dispersores, ela é um bom local para o desenvolvimento de plântulas e formação de núcleos arbustivos, pois atrai mais regenerantes para baixo de sua copa (DIAS et al., 2005). Esta espécie, por sua vez, parece ter sua germinação e estabelecimento

facilitados pelas condições geradas em tanques de bromélias (CORREIA et al., 2010), evidenciando interações positivas subsequentes. Outra espécie do mesmo gênero, *Clusia criuva* Cambess. pode ter sua colonização em vegetação herbácea facilitada por bromélias da espécie *Vriesea friburgensis* Mez e por arbustos da espécie *Guapira opposita* (Vell.) Reitz (BEDUSCHI & CASTELLANI, 2008).

A espécie *G. opposita*, considerada uma facilitadora (CASTANHO et al., 2012; CASTANHO & PRADO, 2014), é comumente encontrada associada a espécies arbustivas/arbóreas de restinga no sul e sudeste do país. Esta espécie possui um efeito positivo na germinação e sobrevivência de espécies como *Ternstroemia brasiliensis* Cambess. causado pela diminuição da radiação e das temperaturas do solo como consequência do sombreamento provido por sua copa (CASTANHO et al., 2012; CASTANHO & PRADO, 2014). Além disso, *G. opposita* é considerada uma espécie nucleadora na sucessão vegetacional de restinga por atrair uma fauna dispersora que deposita sementes de espécies arbustivas e arbóreas sob sua copa, contribuindo para a formação de núcleos de vegetação (ARAÚJO, 2011).

No sistema de dunas da costa leste da Ilha de Santa Catarina, Florianópolis - SC, a restinga possui uma fisionomia particular. Ela é composta por uma faixa abundante de vegetação de *Dodonaea viscosa* Jacq. situada na duna frontal, seguida por uma vasta matriz de vegetação herbácea nativa que recobre toda a extensão das dunas internas fixas e semifixas (GUIMARÃES, 2006). Em meio a esta grande matriz herbácea, ocorrem pequenos núcleos arbustivos dominados por espécies lenhosas e distantes entre si, onde se destacam em meio ao baixo porte da vegetação. Também são frequentes lagoas rasas e temporárias, alternadas entre as baixadas secas e húmidas. Na matriz herbácea, a espécie *G. opposita* é a lenhosa mais abundante e costuma aparecer isolada ou formar núcleos associado a outras espécies como *C. criuva*, *Myrcia palustris* DC. e *Ocotea pulchella* (Nees) Mez (GUTTLER, 2006), sendo sempre a espécie com a copa mais alta e com a área dominante. A presença de indivíduos de diferentes espécies sendo recrutados sob a copa de *G. opposita* parece ser uma particularidade desta espécie no local, não sendo observadas fortes evidências de facilitação em outros arbustos.

Estudos com a palmeira *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze indicam que esta espécie atua como facilitadora nas restingas, atenuando as condições ambientais e permitir o estabelecimento e desenvolvimento de outras espécies (MENEZES & ARAÚJO, 1999; ZALUAR & SCARANO, 2000; ZALUAR & SCARANO, 2001). Além desses estudos, trabalhos recentes continuam encontrando resultados semelhantes (CARVALHO et al., 2014). ARANTES et al., (2014) em Minas Gerais em uma área de transição para formação do cerrado, considerada um ambiente aberto com a vegetação em formato de manchas (núcleos) da árvore da espécie *Bowdichia virgilioides* Kunth (Fabaceae) observaram uma maior riqueza de espécies abaixo da copa do núcleo e uma relação positiva entre o tamanho da copa. Já DALOTTO et al., 2018, avaliaram a capacidade da espécie *Guapira opposita* (Nyctaginaceae) em atuar como facilitadora numa área de restinga no Sul do Brasil. Os autores demonstram que *G. opposita* atua como uma espécie nucleadora e desempenha um papel fundamental na manutenção, desenvolvimento e regeneração de ambientes de restinga, mantendo a diversidade e funcionalidade do meio (DALOTTO et al., 2018).

PEREA et al., (2019), em um trabalho com a avaliação do efeito facilitador dos arbustos do gênero *Baccharia* L. (Asteraceae), realizado na Serra do Cipó no Sudeste Brasileiro em áreas com a presença de estradas, fizeram o levantamento de todas as espécies ocorrentes, tanto sob o arbusto quanto em áreas adjacentes. Como resultado, foi obtido maior riqueza de espécies com a presença do arbusto *Baccharia*, sendo a maioria espécies nativas.

#### 4.3 Crescimento Vegetal

Os princípios e as práticas da análise quantitativa do crescimento vegetal têm como objetivo descrever e interpretar o desempenho de determinada espécie crescendo em condições de ambiente natural ou controlado (HUNT, 1990). Esta análise é uma aproximação explicativa, holística e integrativa usada para interpretar a forma e a utilidade da planta (HUNT et al., 2002). Tais técnicas foram desenvolvidas no início do século 20 por investigadores britânicos (BLACKMAN, 1919; BRIGGS et al., 1920) e é considerada internacionalmente como método padrão para a estimativa da produtividade biológica ou produtividade primária de comunidades vegetais (PEIXOTO, 1998; PEIXOTO, 2002; CRUZ, 2007; PEIXOTO & PEIXOTO, 2009; TSUMANUMA, 2009).

Basicamente, os parâmetros utilizados para medir o crescimento vegetal abordam a área foliar (AF ou L) e matéria seca (MS ou W) acumulada pela planta por representarem esses fatores a “fabrica” e o “produto final”, respectivamente (Peixoto, 1995). Na prática, as principais medidas de W e L são o peso da matéria seca total (MST) e a área foliar total (AF) da planta (PEIXOTO, 2011). Segundo o autor alguns conceitos básicos devem ser revisados:

- Crescimento: Aumento irreversível de algum atributo físico, especialmente do material protoplasmático (REIS & MULLER, 1979). Pode-se medir a massa, tamanho ou volume, a depender do: a) Do objetivo do experimentador, b) Da disponibilidade do material a ser estudado e c) Da disponibilidade do equipamento para efetuar a medida;

- Desenvolvimento: Diferentes etapas por que passa o organismo ou o vegetal (germinação, juvenilidade, maturação, reprodução, senilidade e morte). O desenvolvimento é caracterizado pelo crescimento e por mudanças na forma da planta, as quais ocorrem por meios de padrões sensíveis de diferenciação e morfogênese;

- Diferenciação: Aumento em complexidade. Diz respeito a todas as diferenças qualitativas entre células: especialização de células e tecidos para funções particulares durante o desenvolvimento. Os tecidos diferenciam-se em sistemas vasculares (floema e xilema), de reservas, preenchimentos e síntese (parênquimas), entre outros.

Neste sentido o crescimento vegetal pode ser mensurado pela altura, diâmetro, ou contagem de partes ou órgãos da planta (crescimento linear), ou ainda, através da fitomassa de uma comunidade (BLACKMAN, 1919; BRIGGS et al., 1920; WATSON, 1952). Atualmente, métodos menos invasivos como a utilização de atributos foliares também estão sendo utilizados para mensurar/avaliar o crescimento vegetal. Existe um reconhecimento do significado funcional das características foliares tais como a massa da folha por unidade de área (MFA) (REICH et al., 1992), suculência (SUC) (KLUGE & TING, 1978) e espessura da lâmina foliar (ESP) (WITKOWSKI & LAMONT, 1991).

As avaliações ecofisiológicas como quantificação de pigmentos fotossintetizantes e a mensuração da fluorescência da Clorofila a nos permitem inferir sobre o potencial fotossintético das plantas e, conseqüentemente, sobre o

crescimento delas, além de revelar aspectos da sua adaptabilidade a diversos ambientes (PORRA et al., 1989; CHAPPELLE & KIM, 1992). A fluorescência da Clorofila *a* também pode ser usada para estimar a eficiência do transporte de elétrons através do fotossistema II e que a eficiência de operação deste fotossistema está correlacionada à assimilação de CO<sub>2</sub>, o que tem levado à utilização deste aspecto na análise do desempenho fotossintético de plantas sob condições de laboratório e em campo (BAKER & ROSENQVIST, 2004).

O ambiente, constituído do biótopo (lugar onde há vida) e da biocenose (conjunto dos seres vivos), afeta a morfologia, o crescimento e a reprodução vegetal, através dos fatores climáticos (altitude, latitude, vento, temperatura, luz e água) e edáficos (topografia, propriedades físicas: textura, estrutura, profundidade e permeabilidade e propriedades químicas: fertilidade, pH e matéria orgânica). Como podemos observar, o desenvolvimento da planta como um todo, é um processo complexo que envolve fatores externos e internos e compreende o crescimento e a diferenciação (PEIXOTO et al., 2011).

Nos estudos ecofisiológicos das plantas não se pode prescindir da análise de crescimento, pois, os fatores ambientais como luz, temperatura, concentração de CO<sub>2</sub> e a disponibilidade de água e nutrientes, próprios de cada local, afetam sensivelmente a taxa assimilatória líquida, a taxa de crescimento relativo, a razão de área foliar etc., destas plantas. Através do estudo das interações destes parâmetros com cada fator ambiental, em particular, e/ou estágio de desenvolvimento da planta, podem ser conhecidas a eficiência do crescimento e a habilidade de adaptação às condições ambientais em que estas plantas crescem. Portanto, independente das dificuldades inerentes ao nosso conhecimento sobre a complexidade que envolve o crescimento das plantas, a análise quantitativa do crescimento é uma ferramenta e o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o desenvolvimento vegetal e a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o seu desempenho, nas diferentes condições (PEIXOTO et al., 2011).

Alguns estudos de restauração em ecossistema de restinga nos fornecem informações sobre o crescimento e o comportamento ecofisiológico de diversas plantas (SCARANO, 2002; BECHARA, 2003; DIAS et al., 2005; ZAMITH & SCARANO, 2006; FIDALGO et al., 2009; ZAMITH & SCARANO, 2010; ZANELLA et al., 2010; CORREIA & CREPALDI, 2011; GERZSON et al., 2012; LOUREIRO et al., 2021). Contudo, especificamente sobre as palmeiras a maioria dos estudos se concentram em espécies de interesse comercial, na germinação e no crescimento inicial destas (COSTA, 2018; RUIZ FILHO, 2004; CARVALHO et al., 2006).

Estudos conduzidos com outras espécies de palmeiras mostram que o crescimento é prejudicado em solos pobres e muito iluminados, como nas restingas (CHARLO, 2006; IOSSI et al., 2003; CARVALHO et al., 2006). Maior crescimento sob menores níveis de radiação também foram observadas no palmito (*Euterpe edulis* Mart.), pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) e no coqueiro (*Cocos nucifera* L.) (PINHEIRO et al., 1988; GARCIA & FONSECA, 1991; NODARI et al., 1999; TSUKAMOTO FILHO et al., 2001; FARIA et al., 2002). Especificamente, a espécie *E. edulis*, crescendo em luz solar plena apresentou uma redução significativa no acúmulo de massa seca, mostrando que essa condição não é mais ideal para o seu cultivo (NAKAZONO et al., 2001). O comportamento apresentado por *E. edulis* é encontrado em outras espécies de palmeiras onde a exposição prolongada a altas irradiâncias pode ser prejudicial às plântulas que absorvem mais fótons de luz do que podem utilizar, levando à fotoinibição da fotossíntese ou mesmo à morte devido ao dano causado ao aparelho fotossintético pela quantidade excedente de fótons de luz (SONOIKE 1996, KITAO et al., 2000).

#### 4.4 Nutrição Vegetal

Nutrientes minerais são elementos obtidos principalmente na forma de íons inorgânicos do solo. Apesar desses nutrientes continuamente circularem por todos os organismos, eles entram na biosfera predominantemente pelo sistema radicular das plantas; assim, estas de certa forma, agem como “mineradoras” da crosta terrestre. A grande área de superfície das raízes e a capacidade das mesmas em absorver íons inorgânicos em baixas concentrações da solução do solo fazem a absorção mineral pelas plantas um processo muito eficaz. Após

terem sido absorvidos pelas raízes, tais elementos são translocados para as diversas partes da planta, onde são utilizados em numerosas funções biológicas (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Juntamente com o carbono, o hidrogênio e o oxigênio existem elementos que a planta necessita (SAMPAIO, 2002). Dentre estes, existem alguns exigidos em quantidades maiores, os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), porém existem aqueles que são exigidos em quantidades menores os quais são denominados micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) (KERBAUY, 2004).

Atualmente utilizam-se muitos nutrientes para adubação de plantações, sendo o NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) o mais amplamente utilizado. Mas nem sempre se sabe qual a melhor fórmula da união de NPK para cada tipo de planta, sendo que o segredo da adubação é a aplicação, cada planta tem um ritmo de crescimento próprio e precisa ser adubada com determinada frequência e dose adequada. Muitos agricultores simplesmente aplicam uma dosagem de NPK e não sabem ao certo qual o problema ou necessidade da planta, sendo que ela pode estar necessitando de uma quantia maior de P, K, porém é aplicada uma fórmula a qual contém uma grande quantia de N, sendo que o nitrogênio para aquela determinada planta já tem em quantidade necessária para seu desenvolvimento (YUYAMA, 1997).

O nitrogênio (N) é o macronutriente mais abundante na planta, sendo também o nutriente mais exigido pelas culturas entre todos os demais, com poucas exceções (MALAVOLTA, 1980). Na sua maior proporção é absorvido pelas raízes na forma de nitrato. A planta absorve a maior parte do N nas primeiras fases da sua vida e deixa armazenada em seus tecidos de crescimento. Dentro da planta o N faz parte de muitos compostos, principalmente de proteínas, as quais foram nomeadas, por importância, como a “base da vida” (MALAVOLTA, 1989).

O fósforo (P) é encontrado na planta nas formas orgânica e inorgânica, sendo um nutriente exigido menos pelas culturas do que o nitrogênio (Malavolta, 1980). Segundo OSAKI (1991), a maior parte deste nutriente é absorvida pelas raízes das plantas por meio da solução do solo e em menor quantidade é absorvido da superfície da argila. O P é muito importante para a planta transformar os hidratos de carbono em açúcares, estando desta forma, envolvido no processo de fotossíntese. O P é o grande responsável pelo processo de divisão das células, é

um dos agentes direto da formação da clorofila e ainda aumenta o desenvolvimento radicular propiciando à planta maior capacidade de absorver os elementos férteis do solo. Age diretamente na qualidade dos frutos e faz a maturação das sementes (REIS et al., 1993).

O potássio (K) constitui, juntamente com o nitrogênio e o fósforo, o grupo denominado elementos nobres da adubação (MELLO, 1983). Segundo MALAVOLTA (1980), o K é o segundo macronutriente mais exigido pelas plantas, superado somente pelo N, mesmo não sendo encontrado nos solos em teores tão limitantes quanto o P. Cerca de meia centena de enzimas são ativadas pelo K, daí sua participação em diversas fases do metabolismo: reações de fosforilação, síntese de carboidratos, respiração e síntese de proteínas. Além disso, o nível de potássio nas células-guardas regula a abertura e o fechamento dos estômatos.

Estudar as exigências nutricionais de mudas de espécies nativas tem sido cada vez mais comum e tem por objetivo resolver um dos grandes problemas na elaboração de programas de plantios florestais. A palmeira *A. arenaria* se situa entre as espécies nativas, das quais, ainda não se encontram informações sobre as suas exigências nutricionais. Porém, sabemos da elevada demanda por nutrientes apresentada por palmeiras, tanto na fase de crescimento vegetativo quanto na fase reprodutiva (SECRETARIA & MARAVILHA, 1997; BOVI & CANTARELLA, 1996; TINKER, 1982; BOVI et al., 2002).

Deficiências minerais e distúrbios de crescimento em espécies tropicais e subtropicais usadas em reflorestamentos são comuns (DRESCHER & ZECH, 1991), tendo em vista que, muitas vezes, a produção de plantas jovens é feita utilizando-se subsolo como substrato, cuja fertilidade natural é extremamente baixa. O teor de fósforo total nos solos minerais é variável, expresso em  $P_2O_5$ , raramente excede 0,5%, variando, geralmente, entre 0,12% e 0,15%. O P disponível se origina da solubilização de minerais fosfatados da mineralização da matéria orgânica e da adição de fertilizantes (MELLO et al., 1983, MALAVOLTA, 1985). Em consequência, as plantas devem se adaptar em razão do fato de que a maioria dos solos disponíveis para reflorestamento no Brasil é de baixa fertilidade, notadamente em fósforo (BARROS & NOVAIS, 1990). Em *Bactris gasipaes* (pupunha), SILVA et al., (2002) constataram que a omissão do fósforo limitou o crescimento da planta, reduzindo o tamanho das folhas mais novas e levando as

folhas mais velhas a apresentarem coloração amarelada, seguida de necrose e secamento das pontas. As folhas mais novas apresentaram coloração verde-opaco e ficaram levemente murchas. Estudos com plantas jovens de pupunheira, em condições de viveiro, mostraram resposta positiva à adubação fosfatada tanto para desenvolvimento aéreo, como, especialmente, para sistema radicial dessa espécie (BOVI et al., 2002).

Em condições de campo, observando plantas jovens de palmitreiro, ILLENSEER & PAULILO (2002), verificaram que, sob alta irradiância, tanto a baixa disponibilidade de fósforo quanto a de nitrogênio podem inibir o crescimento destas. É importante ressaltar que, embora sejam encontrados diversos trabalhos com palmeiras associados às exigências nutricionais, existe um fator limitante de padronização das medidas de avaliação, dificultando a comparação de resultados, o que justifica a necessidade de estudos de determinação da quantidade de fósforo a ser fornecida para o melhor desenvolvimento das plantas.

Segundo VICHATO, (1996) o fósforo requerido para o ótimo crescimento das plantas varia conforme a espécie ou órgão analisado, variando de 0,1 a 0,5% da matéria seca. Além de ajudar as raízes e as plântulas a se desenvolverem mais rapidamente, o fósforo aumenta a resistência ao frio, melhora a eficiência no uso da água, favorece a resistência às doenças em algumas plantas (POZZA et al., 2002) e aumenta a absorção de nutrientes, especialmente, do nitrogênio (NOVAIS; SMYTH, 1999). O uso do superfosfato simples tem tido preferência no fornecimento de fósforo às plantas porque, além do fósforo, contem cálcio e enxofre em sua composição química (CARMELLO, 1995).

O uso de fósforo na formulação do substrato em mistura com material orgânico é uma excelente estratégia para a obtenção de mudas mais vigorosas, pois ajudam na formação do sistema radicular (CRUSCIOL et al., 2005; SANT'ANA et al., 2003; SILVA; DELATORRE, 2009), aumentando a tolerância das plantas aos fatores bióticos e abióticos tais como estresse hídrico (LEÃO, 2006; SANTOS et al., 2004) e doenças (YAMADA, 2002). De acordo com LACERDA et al., (2009) a aplicação de 12 g dm<sup>-3</sup> de superfosfato simples ao substrato contendo 68% de terra vegetal e 32% de esterco bovino foi eficiente para a produção de mudas de goiabeira cultivar "Paluma". Para a produção de mudas de *Eugenia uvalha* em sacos de polietileno, SOUZA et al., (2009) recomendam a aplicação de 1,30 kg m-

3 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ao substrato composto por mistura de terra, esterco bovino e areia na proporção de 3:2:1. Já para a cultura do mamoeiro (*Carica papaya*), MENDONÇA et al., (2006) recomendam o uso de superfosfato simples na proporção de 10 kg m<sup>-3</sup> de substrato, em mistura com 40% de composto orgânico, para a produção de mudas em sacos plásticos medindo 10 x 20 cm. Para a produção de mudas de pitangueira, em sacos medindo 10 x 20 cm, ABREU et al., (2005) recomendam o uso de P na proporção de 6 kg m<sup>-3</sup> de substrato, aplicado na forma de superfosfato simples, independente da composição do substrato.

#### 4.5 Referências

- ABREU, N.A.A. et al., Crescimento de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) em substratos com utilização de superfosfato simples. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 06, p. 1117-1124, 2005.
- ALBUQUERQUE, L.B.; ALONSO, A.M.; AQUINO, F. de G.; REATTO, A.; SOUSASILVA, J.C.; LIMA, J.E.F.W.; SOUSA, A.C. da S.A. de; SOUSA, E.dosS. Restauração ecológica de matas ripárias: uma questão de sustentabilidade. Brasília: **Embrapa Cerrados**, 2010. (Documentos 295).
- AL-NAMAZI, A.A., EL-BANA, M.I. & BONSER, S.P. Competition and facilitation structure plant communities under nurse tree canopies in extremely stressful environments. **Ecology and Evolution**, 7, 2747–2755. 2017.
- ARANTES, C.S., VALE, V.S., OLIVEIRA, A.P., JÚNIOR, J.A.P., LOPES, S.F. & SCHIAVINI, I. Forest species colonizing cerrado open areas: distance and área effects on the nucleation process. **Brazilian Journal of Botany**, 37, 2, 143–150. 2014.
- ARAÚJO, D.S.D & OLIVEIRA, R.R. Reserva Biológica Estadual da Praia do Sul (Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro): lista preliminar da flora. **Acta Bot. Bras.** 1(2), P. 83-94. 1988.
- ARAÚJO, D.S.D. Análise Florística e Fitogeográfica das Restingas do Estado do Rio de Janeiro. **Tese (Doutorado em Ecologia)** – UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
- ARAÚJO, D.S.D.; HENRIQUES, R.P.B. Análise florística das Restingas do estado do Rio de Janeiro. In: LACERDA, L. D. et al., (Org.). **Restingas: origem, estrutura, processos**. Niterói: CEUFF, p.150-193; 1984.

ARAUJO, D.S.D.; PEIXOTO, A.L. Renovação da comunidade vegetal de restinga após queimada. In XXVII Congresso Nacional de Botânica, 1997, Rio de Janeiro. Anais... RJ: **Academia Brasileira de Ciências**, p.1-18. 1997.

ARAÚJO, D.S.D.; PEREIRA, M.C.A.; PIMENTEL, M.C.P. Flora e estrutura de comunidades na Restinga de Jurubatiba - síntese dos conhecimentos com enfoque especial para a formação aberta de *Clusia*. In: ROCHA, C. F. D.; ESTEVES, F.A.; SCARANO, F.R. (Orgs.). **Pesquisas de longa duração na Restinga de Jurabatiba: ecologia, história natural e conservação**. São Carlos: RIMA, p.59-76; 2004.

ARAÚJO, R.C. Chuva de sementes em restinga: uma abordagem em nucleação. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2011.

ARMAS C, PUGNAIRE F.I. Ontogenetic shifts in interactions of two dominant shrub species in a semi-arid coastal sand dune system. **Journal of Vegetation Science** 20:535–546; 2009.

ASSUMPÇÃO, J.; NASCIMENTO, M.T. Estrutura e composição florística de quatro formações vegetais de restinga no complexo lagunar de Grussaí/Iquipari, São João da Barra, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 14. p. 301-315. 2000.

ASSUMPÇÃO, J.; NASCIMENTO, M.T. Fitofisionomia de uma restinga no extremo norte do litoral fluminense: um novo elemento no mosaico? In: IV **Simpósio de Ecossistemas Brasileiros**, 1998, São Paulo. Anais... São Paulo: ACIESP, vol. 3. p. 158-164. 1998.

BADANO, E.I., SAMOUR-NIEVA, O.R., FLORES, J., FLORES-FLORES, J.L., FLORES-CANO, J.A. & RODAS-ORTÍZ, J.P. Facilitation by nurse plants contributes to vegetation recovery in human-disturbed desert ecosystems. **Journal of Plant Ecology**, 9, 485-497. 2016.

BAKER, N.R. e ROSENQVIST, E. Aplicações da Fluorescência da Clorofila Podem Melhorar as Estratégias de Produção de Culturas: Um Exame das Possibilidades Futuras. **Journal of Experimental Botany**, 55, 1607-1621, 2004.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R. F. Relação solo-eucalipto. Viçosa: **Editora folha de Viçosa**, 330 p. 1990.

BAUMAN, A.E., REIS, R.S., SALLIS, J.F., WELLS, J.C., LOOS, R.J.F. & MARTIN, B.W. Correlates of physical activity: why are some people physically active and others not?. **The Lancet**, 71, 380-258. 2012.

BECHARA, F.C. Restauração ecológica de restingas contaminadas por pinus no Parque Florestal do rio vermelho, Florianópolis, SC. 136 f. **Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal)**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

BECHARA, F.C. Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras: floresta estacional semidecidual, cerrado e restinga. 2006. **Tese (Doutorado em Recursos Florestais)** – USP, Piracicaba, 2006.

BEDUSCHI, T.; CASTELLANI, T. T. Estrutura populacional de *Clusia criuva* Cambess.(Clusiaceae) e relação espacial com espécies de bromélias no Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, Florianópolis, SC. **Biotemas**, v. 21, n. 2, p. 41-50, 2008.

BERTNESS, M.D. & CALLAWAY, R. Positive interactions in communities. Trends in **Ecology and Evolution**, 9:191–193. 1994.

BLACKMAN, V.H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, 33:353-360, 1919.

BOVI, M. L. A.; GODOY JUNIOR; SPIERING. S. H. Resposta de crescimento da pupunheira à adubação NPK. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 1, 2002.

BOVI, M. L. A.; CANTARELLA, H. pupunha para extração de palmito. In Raij, B.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. Recomendações de adubação para algumas culturas de estado de São Paulo. **Boletim Técnico**, 100. Campinas: Instituto Agronomico, p. 240-242, 1996.

BRANCALION, A.; RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G. Plantio de árvores nativas brasileiras com baixa diversidade florística e com a inserção da sucessão florestal. In: LABORATÓRIO DE ECOLOGIA E RESTAURAÇÃO FLORESTAL – LERF. **Pacto para a restauração ecológica da Mata Atlântica: Referencial teórico**. Piracicaba: USP, 2007

BRASIL. Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o , incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm). Acesso em 03 fev 2020.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 261 de 30 de junho de 1999. Aprova parâmetro básico para análise dos estágios sucessivos de vegetação de restinga para o Estado de Santa Catarina. D.O.U. nº 146, 1999.

BRESOLIN, A. **Flora da restinga de Santa Catarina**. Trabalho (Professor Titular) - UFSC, Florianópolis, 1979.

BRIGGS, G.E.; F. KIDD e C. WEST. A quantitative analysis of plant growth. *Ann. Appl. Biol.*, 7:202- 223, 1920.

BROGGIO, I.F. Existe facilitação por *A. arenaria* (Gomes) Kuntze (ARECACEAE) em ecossistemas de restinga. **Monografia do curso de Ciências Biológicas (Bacharelado)**. UFES/CEUNES. 2015.

BROOKER, R. W. et al., Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. **Journal of Ecology**, v. 96, n. 1, p. 18-34, 2008.

CALLAWAY R. M. Interaction between competition and facilitation. In: Callaway RM, ed. Positive interactions and interdependence in plant communities. Dordrecht, The Netherlands: **Springer**, 179–254, 2007.

CALLAWAY, R. M. et al. Positive interactions among alpine plants increase with stress. **Nature**, v. 417, n. 6891, p. 844-848, 2002.

CALLAWAY, R. M. Positive interactions among plants. *The Botanical Review*, v. 61, n. 4, p. 306-349, 1995.

CALLAWAY, R. M.; PUGNAIRE, F. I. Facilitation in plant communities. **Handbook of functional plant ecology**, p. 623-648, 1999.

CALLAWAY, R. M.; WALKER, L. R. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. **Ecology**, v. 78, n. 7, p. 1958-1965, 1997.

CARMELLO, Q. A. C. Nutrição e adubação de mudas hortícolas. In: MINAMI, Q. (Ed.). Produção de mudas de alta qualidade em horticultura. São Paulo: T. A. Queiroz, 1995. p. 7-27.

CARVALHO et al., Crescimento inicial de plantas de Licuri (*Syagrus coronata* (MART.) BECC em diferentes níveis de luminosidade. **Rev. Árvore**, Viçosa, MG, v.30, n.3, p.351-357, 2006.

CARVALHO, D.C., PEREIRA, M.G. & MENEZES, L.F.T. Aporte De Biomassa e Nutrientes por *Allagoptera arenaria* na Restinga da Marambaia, Rio De Janeiro, RJ. **Floresta**, 44, 3, 349-358. 2014.

- CARVALHO, D.C.; PEREIRA, M.G.; MENEZES, L.F.T. Aporte de biomassa e nutrientes por *Allagoptera arenaria* na restinga da Marambaia, Rio de Janeiro, RJ. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 349-358, 2014.
- CARVALHO, J.O.P. Análise estrutural da regeneração natural em floresta tropical densa na região do Tapajós no estado do Pará. Curitiba, 1982. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 1982.
- CARVALHO, D. A.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Avaliação da recomposição da cobertura vegetal de dunas de rejeito de mineração em Mataraca/PB. **Acta Botanica Brasilica** 7 (2), p. 107-117. 1993.
- CARVALHO, N. O. S.; PELACANI, C. R.; RODRIGUES, M. O. de S.; CREPALDI, I. C. Crescimento inicial de plantas de licuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.) em diferentes níveis de luminosidade. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p.351-357, 2006.
- CASTANHO, C. T.; OLIVEIRA, A. A.; PRADO, P. I. Does extreme environmental severity promote plant facilitation? An experimental field test in a subtropical coastal dune. **Oecologia**, v. 178, n. 3, p. 855-866, 2015.
- CASTANHO, C. T.; OLIVEIRA, A. A.; PRADO, P. I. The importance of plant life form on spatial associations along a subtropical coastal dune gradient. **Journal of Vegetation Science**, v. 23, n. 5, p. 952-961, 2012.
- CASTANHO, C. T.; PRADO, P. I.. Benefit of shading by nurse plant does not change along a stress gradient in a coastal dune. **PloS one**, v. 9, n. 8, p. e105082, 2014.
- CHAPPELLE, E.W. e KIM, M.S. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): the algorithm for a remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. **Remote Sens Environ.** 39:239-47, 1992.
- CHARLO, H. C. O. et al., Aspectos morfológicos, germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de *Archontophoenix alexandrae* (F. Mueller) H. Wendl. e Drude (ARECACEAE) em diferentes substratos. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.6, p.933-940, 2006.
- CHAZDON, R. L. & GUARIGUATA, M. R. Natural Melbourne regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: Prospects and challenges. **Biotropica** 48: A. Finkelstein & F. Corrales-Araya. Recovery of 716–730

CHAZDON, R. L. & URIARTE, M. Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration forest. **Biotropica** 48: 709–715, 2016.

CHAZDON, R.L. Regeneração de Florestas Tropicais. Bio. Mus. Para. Emílio Goeldi. **Cienc. Nat.**, Belén, v.7, p.195 – 218. 2012.

CONNELL JH, SLATYER RO. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. **The American Naturalist** 111:1119–1144, 1997.

CORREIA, C. M. B.; DIAS, A. T. C.; SCARANO, F. R. Plant-plant associations and population structure of four woody plant species in a patchy coastal vegetation of Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 33, n. 4, p. 607-613, 2010.

CORREIA, G.G.S. & CREPALDI, M.O.S. Taxas de crescimento e mortalidade de espécies em áreas em restauração, Parque Estadual de Itaúnas, ES. **Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental**, Guarapari, E.S., 2011.

CORTINA, L. M., MAGLEY, V. J., WILLIAMS, J. H., & LANGHOUT, R. D. Incivility in the workplace: Incidence and impact. *Journal of Occupational Health Psychology*, 6, 64- 80. 2001.

COSTA, C.A.S. Biometria de sementes morfologia da germinação e crescimento inicial de cinco ARECACEAE. **Tese de mestrado**, PPG Agronomia/Fitotecnia UFC, Fortaleza, 2018.

CRUSCIOL, C. A. C. et al., Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas. **Bragantia**, v. 64, n. 04, p. 643-649, 2005.

DALOTTO, C.E.S., SÜHS, R.B., DECHOUM, M.S., PUGNAIRE, F.I., PERONI, N. & CASTELLANI, T.T. Facilitation influences patterns of perennial species abundance and richness in a subtropical dune system. **AoB PLANTS**, 10, ply017. DOI: 10.1093/aobpla/ply017. 2018.

DIAS A.T.C.; ZALUAR, H. L. T., GANADE, G. et al., Canopy composition influencing plant patch dynamics in a Brazilian sandy coastal plain. **Journal of Tropical Ecology** 21:p. 343-347. 2005.

DIAS, A. T. C.; ZALUAR, H. L. T.; GANADE, G.; SCARANO, F. R. Canopy composition influencing plant patch dynamics in a Brazilian sandy coastal plain. **Journal of tropical ecology**, v. 21, n. 03, p. 343- 347, 2005.

- DIAS, A. T. C.; ZALUAR, H. L. T.; GANADE, G.; SCARANO, F. R. Canopy composition influencing plant patch dynamics in a Brazilian sandy coastal plain. **Journal of tropical ecology**, v. 21, n. 03, p. 343- 347, 2005.
- DRECHSEL, P. & ZECH, W. Foliar nutrient levels of broadleaved tropical trees: a tabular review. **Plant and Soil** 131: 29-46. 1991.
- FARIA, W. S.; GAÍVA, H. N.; PERIRA, W. E. Comportamento de cinco genótipos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) na fase de germinação e de crescimento de mudas, sob diferentes sistemas de produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 458-462, 2002.
- FIDALGO, A.O.; ALCÂNTARA, R.P.; CALDIRON, G.T. Parâmetros de crescimento na avaliação de uma floresta implantada em uma restinga degradada pela mineração. **Revista Brasileira de Biociências**, v.7, n.4, p.382-386, 2009.
- FILAZZOLA, A., LICZNER, A.R., WESTPHAL, M. & LORTIE, C.J. The effect of consumer pressure and abiotic stress on positive plant interactions are mediated by extreme climatic events. **New Phytol**, 217, 140–150. <https://doi.org/10.1111/nph.14778>. 2018.
- GARCIA, T. B.; FONSECA, C. E. L. Crescimento de mudas de pupunheira em condições de viveiro coberto com palha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 9, p. 1447-1451, 1991.
- GERZSON, N.D.; FUENTES, E.V.; HESSEL, M.; HERNÁNDEZ, M.I.M. Efetividade de medidas complementares de restauração em vegetação de restinga. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 59p., 2012.
- GESSELER et al., Comparison of the performance of three different ecophysiological life forms in a sandy coastal restinga ecosystem of SE-Brazil: a nodulated N<sub>2</sub>-fixing C<sub>3</sub>-shrub (*Andira legalis* (Vell.) Toledo), a CAM-shrub (*Clusia hilariana* Schltdl.) and a tap root Chemicryptophyte (*Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze.) **Trees**. 22:105–19. 2008.
- GÓMEZ-APARICIO, L. The role of plant interactions in the restoration of degraded ecosystems: a meta-analysis across life-forms and ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 97, n. 6, p. 1202-1214, 2009.
- GÓMEZ-RUIZ, P.A., LINDIG-CISNEROS, R. & VARGAS-RÍOS, O. Facilitation among plants: A strategy for the ecological restoration of the high-andean forest (Bogotá, D.C.—Colombia). **Ecological Engineering**, 57, 267– 275. 2013.

- GUIMARÃES, T. B. Florística e fenologia reprodutiva de plantas vasculares na restinga do Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, Florianópolis, SC. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2006.
- GÜTTLER, F. N. Mapeamento da vegetação do Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, Florianópolis–SC. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2006.
- HENRIQUES, R.P.B., ARAUJO, D.S.D. & HAY, J.D. Descrição e classificação dos tipos de vegetação da restinga de Carapebus, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Botânica** 9: P. 173-189. 1986.
- HENTSCHEL, R. L. Gradiente vegetacional, variáveis ambientais e restauração na restinga da Praia do Ouvidor, Garopaba, Santa Catarina. Dissertação (Mestrado em Ciências: Botânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 18 de abril de 2008.
- HORTAL, S.; BASTIDA, F.; ARMAS, C.; LOZANO, Y. M.; MORENO, J. L.; GARCÍA, C.; PUGNAIRE, F. I. Soil microbial community under a nurse-plant species changes in composition, biomass and activity as the nurse grows. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 64, p. 139-146, 2013.
- HUNT, R. Basic growth analysis. London: Unwin Hyman, 112 p., 1990.
- ILLENSEER, R.; PAULILO, M. T. S. Crescimento e eficiência na utilização de nutrientes em plantas jovens de *E. edulis* Mart. sob dois níveis de irradiância, nitrogênio e fósforo. **Acta Botânica Brasílica**, n.4, v. 16, 2002.
- IOSSI, E.; SADER, R.; PIVETTA, K. F. L. & BARBOSA, J. C. Efeitos de substratos e temperaturas na germinação de sementes de tamareira-anã (*Phoenix roebelenii* O'Brien). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, p.63-69, 2003.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 2004, 472 p.
- KLUGE, M. & TING, I.P. Crassulacean Acid Metabolism: Analysis of an Ecological Adaptation. Berlin, **Springer-Verlag**, 1978.
- LACERDA, J. S. et al., Crescimento de mudas de goiabeira 'Paluma' em substratos fertilizados com fósforo. **Engenharia Ambiental**, v.06, n. 02, p. 650-662, 2009.
- LACERDA, L. D.; ARAÚJO, D. S. D.; MACIEL, N. C. Dry coastal ecosystems of the tropical Brazilian coast. Pp. 477-493. In: E. van der Maarel (Ed.). *Ecosystems*

of the world 2B: Dry Coastal Ecosystems: Africa, America, Asia and Oceania. Amsterdam: Elsevier, 1993.

LEÃO, D. A. S. Estresse hídrico e adubação fosfatada no desenvolvimento inicial e na qualidade da forragem da gliricídia (*Gliricídia sepium* (Jacq.) Steud. e do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). 2006. 56 f. **Dissertação (Mestrado em Zootecnia)** - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2006.

LOUREIRO, N.; SOUZA, T.P.; NASCIMENTO, D.F.; NASCIMENTO, M.T. Survival, seedlings growth and natural regeneration in areas under ecological restoration in a sandy coastal plain (restinga) of southeastern Brazil. **Ecological Society of Australia**. doi:10.1111/aec.13114. 2021.

LUBKE, R. A.; AVIS, A. M. A review of the concepts and application of rehabilitation following heavy mineral dune mining. **Marine Pollution Bulletin**, v.37, n.8-12, p.546-557, 1998.

LYU, L., ZHANG, Q., DENG, Z. & MAKINEN, H. Fine-scale distribution of treeline trees and the nurse plant facilitation on the eastern Tibetan Plateau. **Ecological Indicators**, 66, 251–258. 2016.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo, EPU, V.1, p.363 – 50, 1985.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral**. In: FERRI, M. G. (Ed.). *Fisiologia Vegetal*. São Paulo: EPU, p. 97-116, 1995.

MELLO, F. A. F. et al., **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 400 p. 1983.

MELLO-FILHO, L. E. de. A Floresta Atlântica. In: Monteiro, S. & Kaz, L. (coords.) *Floresta Atlântica – Textos científicos*. Rio de Janeiro: **Alumbramento**, 1991/1992.

MENDES, F.F. Controle genético da eficiência no uso de fósforo em milho tropical. Lavras: UFLA, 134p; 2012.

MENDONÇA, V. et al., Crescimento de mudas de mamoeiro Formosa em substratos com utilização de composto orgânico e superfosfato simples. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 05, p. 861-868, 2006.

- MENEZES, L.F. T.; PUGNAIRE, F.I.; MATAALLANA, G.; NETTESHEIM, F.C.; CARVALHO, D.C.; MATTOS, E.M. Disentangling plant establishment in sandy coastal systems: biotic and abiotic factors that determine *Allagoptera arenaria* (Arecaceae) germination. **Acta Botanica Brasilica**. doi: 10.1590/0102-33062017abb0121. 2017.
- MENEZES, L.F.T. & ARAÚJO, D.S.D. Formações vegetais da Restinga da Marambaia, Rio de Janeiro. P. 67-120. In: L.F.T. Menezes; A. L. Peixoto & D.S.D. Araújo. **História Natural da Marambaia**. Seropédica, EDUR. 2005.
- MENEZES, L.F.T. & ARAÚJO, D.S.D. Variação da biomassa aérea de *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze numa comunidade arbustiva de Palmae na Restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Biologia** 60(1): 47-157. 2000.
- MENEZES, L.F.T.; ARAÚJO, D.S.D. Regeneração e riqueza da formação arbustiva de Palmae em uma cronoseqüência pós-fogo na Restinga da Marambaia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Acta bot. bras.** 18(4): 771-780, 2004.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros. Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros e Marinhos no Brasil. Brasília: MMA/SBF/GBA, 148p. 2010.
- MIRANDA, R. V.; BARROSO, D. G.; MARINHO, C. S. et al., Estudo sobre a vegetação em dunas de rejeito de mineração no litoral norte do Estado da Paraíba. **Revista Árvore** 21: P. 345–351. 1997.
- MONTEZUMA, R.C.M. Estrutura da vegetação de uma restinga de Ericaceae no Município de Carapebus - RJ. **Dissertação de mestrado**, Universidade Federal Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1997.
- NAKAZONO, E.M. et al., Crescimento inicial de *Euterpe edulis* Mart. Em diferentes regimes de luz. **Revta. Brasil. Bot.**, São Paulo, V.24, n.2, p173-179, 2001.
- NIERING, W.A; WHITTAKER, R.H. Lowe CH. The saguaro: a population in relation to environment. **Science** 142:15–23, 1963.
- NODARI, R. O. et al., Crescimento de mudas de palmitero (*Euterpe edulis* Mart.) em diferentes condições de sombreamento e densidade. **Revista Árvore**, v. 23, n. 3, p. 285-292, 1999.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solos e planta em condições tropicais. Viçosa, MG: UFV, 1999. 399 p.

- O'BRIEN, M.J., MENEZES, M.J., BRATHEN, L. T., LOSAPIO, G.K.A. & PUGNAIRE, F.I. Facilitation mediates species presence beyond their environmental optimum. **Evolution and Systematics**, 38, 24–30. 2019.
- OSAKI, F. Calagem & adubação. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503p.
- PADILLA, F. M.; PUGNAIRE, F. I. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 4, n. 4, p. 196-202, 2006.
- PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. P. ANALISE QUANTITATIVA DO CRESCIMENTO DE PLANTAS: Conceitos e Práticas. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011.
- PELÁEZ, M., DIRZO, R., FERNANDES, G.W. & PEREA, R. Nurse plant size and biotic stress determine quantity and quality of plant facilitation in oak savannas. **Forest Ecology and Management**, 437, 435–442. 2019.
- PEREA, R., CUNHA, J.S., SPADETO, C., GOMES, V.M., MOURA, A., RUBIA, B. & FERNANDES, G.W. Nurse shrubs to mitigate plant invasion along roads of montane Neotropics. **Ecological Engineering**, 136, 193–196. 2019.
- PEREIRA, O. J. Caracterização fitofisionômica da Restinga de Setiba - Guarapari, ES. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: ESTRUTURA, FUNÇÃO E MANEJO, 2., 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ACIESP, v.3. p.207-219. 1990.
- PINHEIRO, G. S.; MARIANO, G.; CRESTANA, C. S. M. Estudo do desenvolvimento do palmito *Euterpe edulis* Mart. (Palmae), sob diversas condições de sombreamento, em plantio de *Pinus kesiya* Royle ex Gordon. São Paulo: **Instituto Florestal**, p. 171-180 (Boletim Técnico, 42), 1988.
- PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A.; KRIDEMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimic et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 975, p. 384-394, 1989.
- POZZA, A. A. A. et al., Suprimento de fósforo na produção e intensidade da cercosporiose de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 05, p. 970-976, 2002.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina: E.

PUGNAIRE, F.I., ARMAS, C. & MAESTRE, F.T. Positive plant interactions in the Iberian Southeast: Mechanisms, environmental gradients, and ecosystem function. **Journal of Arid Environments**, 75, 1310-1320. 2011.

REICH, P. B., WALTERS, M. B. e ELLSWORTH, D. S. Leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. **Ecological Monographs** 62(3), 365-392. 1992.

REIS, A.; BECHARA, F. C. A Nucleação como Novo Paradigma na Restauração Ecológica: “Espaço para o Imprevisível”. In: **Workshop sobre restauração de áreas degradadas no estado de São Paulo.** São Paulo. Anais... São Paulo, Instituto de Botânica, 2006.

REIS, A.; BECHARA, F. C.; TRES, D. R.; TRENTIN, B. E. Nucleação: concepção biocêntrica para a restauração ecológica. **Ciência Florestal**, v.24, n.2, p.509-519, 2014.

REIS, A.; REIS, M.S.; FANTINI, A.C. Manejo de rendimento sustentado de *Euterpe edulis*. São Paulo: USP, 1993. 59p.

RIBAS, L. A. Análise da estrutura e composição específica das comunidades vegetais de moitas de restinga, em Maricá - RJ. **Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília**, Brasília. 1992.

RIBAS, L. A.; HAY, J. D.; CALDAS-SOARES, J. F. Moitas de restinga: ilhas ecológicas? In **Anais do III Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira** (S. Watanabe, coord.). ACIESP, São Paulo, p.79- 88. 1993.

RIZZINI, C. T. Tratado de fitogeografia do Brasil. aspectos sociológico e florísticos. V. 2. São Paulo: **Hucitec**, 1979.

ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; VAN SLUYS, M.; ALVES, M. A. S.; JAMEL, C. E. The remnants of restinga habitats in the Brazilian Atlantic Forest of Rio de Janeiro state, Brazil: habitat loss and risk of disappearance. **Brazilian Journal of Biology**, v.67, n.2, p.263-273, 2007.

ROCHA, C.F.D.; BERGALLO, VAN SLUYS, MH.G.; ALVES, M.A.S.; JAMEL, C.E. The remnants of restinga habitats in the Brazilian Atlantic Forest of Rio de Janeiro state, Brazil: Habitat loss and risk of disappearance. **Braz. J. Biol.**, 67(2): 263-273. 2007.

RODRIGUES, L.G.S.M.; RODRIGUES, F.M.; VIROLI, S.L.M. Técnicas de restauração florestal em reestingas. *Journal of Bioenergy and Food Science*, Macapá, v.3, n.1, p.28-35, jan./mar., 2016. DOI 10.18067/jbfs.v3i1.42

RODRÍGUEZ-ECHEVERRÍA, S.; ARMAS, C.; PISTÓN, N.; HORTAL, S.; PUGNAIRE, F. I. A role for below-ground biota in plant–plant facilitation. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 6, p. 1420-1428, 2013.

RUIZ FILHO, R.R. Crescimento em altura e diâmetro e aspecto nutricionais da palmeira real australiana em diferentes espaçamentos no litoral do Paraná. **Tese de mestrado**, P.P.G. em Ciência do Solo, UFPR, Curitiba, 2004.

SÁ, C.F.C. Regeneração em área de floresta de restinga da Reserva Ecológica Estadual de Jacarepiá, Saquarema - RJ. **Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro** 34: P. 177-192. 1996.

SAMPAIO, E.S. - **Fisiologia Vegetal: teoria e experimentos**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2002. 180 p.

SANT'ANA, E. P. et al., Utilização de fósforo e características do sistema radicular e da parte aérea de plantas de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 02, p. 370-381, 2003.

SANTOS, M. G. et al., Gás exchange and yield response to foliar phosphorus application in *Phaseolus vulgaris* L. under drought. **Brazilian Journal of Physiology**, v. 16, n. 03, p. 171-179, 2004.

SATO, C.A.; CASAGRANDE, J. C.; REIS-DUARTE, R. M.; SOARES, M. R. Fertilidade do solo e composição mineral de espécies arbóreas de restinga. In: V SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA - Políticas públicas para a restauração ecológica e conservação da biodiversidade. Anais... São Paulo: SMA, 2013. p. 187-199.

SCARANO, F.R. Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rain forest. **Annals of Botany**. 90:517–524. 2002.

SCARANO, F.R.; CIRNE, P.; NASCIMENTO, M.T.; SAMPAIO, M.C.; VILLELA, D.M.; WENDT, T. & ZALUAR, H.L.T. Ecologia vegetal: integrando ecossistema comunidades, populações e organismos. In: Rocha, C.F.D.; Esteves, F.A. & Scarano, F.R. (orgs). **Pesquisas de longa duração na restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação**. Rio de Janeiro: Rima. p. 77-97. 2004.

SCHÖB, C.; ARMAS, C.; GULER, M.; PRIETO, I.; PUGNAIRE, F. I. Variability in functional traits mediates plant interactions along stress gradients. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 3, p. 753-762, 2013.

SECRETARIA, M.I.; MARAVILLA, J.N. Response of hybrid coconut palms to application of manures and fertilizers from field-planting to full-bearing stage. *Plantations, Recherche, Développement*, v.4, p.126-138, 1997.

SER (Society Ecological Restoration). Disponível em: <https://www.ser-rrc.org/what-is-ecological-restoration/> Acesso em 10 de junho de 2020

SILVA, A. A.; DELATORRE, C. A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciência Agroveterinárias**, v. 08, n. 02, p.152-163, 2009.

SILVA, J. R. A. da; FALCÃO, N. P. de SOUZA. Caracterização de sintomas de carências nutricionais em mudas de pupunheira cultivadas em solução nutritiva. **Acta Amazônica**, v. 32, n. 4, p. 529-539, 2002.

SILVA, M. B. R. Fitossociologia da vegetação lenhosa de restinga em Maricá, Rio de Janeiro. **Dissertação de mestrado**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

SOS Mata Atlântica 2021. <https://www.sosma.org.br/conheca/mata-atlantica/> acesso em 25.05.2021.

SOUZA, C. R. de G.; HIRUMA, S. T.; SALLUN, A. E. M.; RIBEIRO, R. R.; SOBRINHO, J. M. A. “Restinga”: Conceitos e empregos do termo no Brasil e Implicações na Legislação Ambiental. 1ª ed. São Paulo: **Instituto Geológico**, 2008.

SOUZA, H. A. et al., Adubação nitrogenada e fosfatada no desenvolvimento de mudas de uvaia. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 01, p. 99-103, 2009.

SUGUIO, K.; TESSLER, M. G. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: Lacerda, L.D; Araújo, D.S.D.; Cerqueira, R.; Turcq, B. (orgs.) **Restingas: origem, estrutura e processos**. Niterói: CEUFF, 1984.

SUN, Z., HUANG, Y., YANG, L., SCHAEFER, V. & CHEN, Y. 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, 5, 749–758. 2017.

- TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 722p.
- TORROBA-BALMORI, P., ZALDÍVAR, P., ALDAY, J.G., FERNÁNDEZ-SANTOS, B. & MARTÍNEZ-RUIZ, C. Recovering Quercus species on reclaimed coal wastes using native shrubs as restoration nurse plants. **Ecological Engineering**, 77, 146–153. 2015.
- TSUKAMOTO FILHO, A. A. et al., Aspectos fisiológicos e silviculturais do palmitheiro (*Euterpe edulis* Martius) plantados em diferentes tipos de consórcio no município de Lavras, Minas Gerais. **Cerne**, v. 7, n. 1, p. 41-53, 2001.
- ULE, E. Die Vegetation von Cabo Frio am der Küste von Brasilien. In: Engler A (ed.) **Botanische Jahrbücher für Systematik** 28: 522-528. 1901.
- VALIKCHALI, M.Y.; POURMAJIDIAN, M.R.; DARVISHI, L., 2014. Ecosystem functioning, services and biodiversity during the ecological restoration (With special attention to forest ecosystem), in: 1st National Conference on Sustainable Development of Renewable Natural Resources. p. 14. doi:10.13140/2.1.3345.6646
- VEGA-ÁLVAREZ, J., GARCÍA-RODRÍGUEZ, J.A. & CAYUELA, L. Facilitation beyond species richness. **Journal of Ecology**, 107, 722-734. DOI: 10.1111/1365-2745.13072. 2018.
- VICHIATO, M. Influência da fertilização do porta-enxerto tangerineira (Citrus reshni Hort. Ex Tan. cv. Cleópatra) em tubetes, até a repicagem. 1996. 82 p. **Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)** - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.
- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, 4:101-145,1952.
- WEST, C.; BRIGGS, G. E.; KIDD, F. Methodos and significant relations in the quantitative analysis of planta growth. **New Physiologist**, v. 19: p. 200-207, 1920.
- WITKOWSKI, E.T.F.; LAMONT, B.B.; Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia** 88: 486-493, 1991.
- YAMADA, T. Nutrição fosfatada melhora a resistência da planta às doenças. **Informações Agronômicas**, n. 97, p. 1-2, 2002.
- YARRANTON, G. A.; MORRISON, R. G. Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. *Journal of Ecology*, v.62, n.2, p.417-428, 1974.

- YUYAMA, K. Sistema de cultivo para produção de palmito da pupunheira. **Horticultura Brasileira**, v.15, p.191-198, 1997.
- ZALUAR, H.L.T. & SCARANO, F.R. Facilitação em restingas de moitas: Um século de buscas por espécies focais. In: ESTEVES, F.A.; LACERDA, L. D. (Ed.). *Ecologia de restingas e lagoas costeiras*. Rio de Janeiro: NUPEM/UFRJ, p.3-23. 2000.
- ZALUAR, H.L.T. Espécies focais e a formação de moitas na restinga aberta de *Clusia*, Carapebus, RJ. **Dissertação de mestrado**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1997.
- ZAMITH, L. R.; SCARANO, F. R. Restoration of a restinga sandy costal plain in Brazil: survival and growth of planted woody species. **Restoration Ecology**, v.14, n.1, p.87-94, 2006.
- ZAMITH, L.R., SCARANO, F.R. Restoration of a coastal swamp forest in southeast Brazil. **Wetlands Ecol Manage**, 18, P. 435–448. 2010.
- ZANELLA, N. R. Z., PRUDENCIO, M. e CASTELLANI, T. T. Análise da cobertura vegetal em duna semifixa dez anos após a aplicação de técnicas de restauração no Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, Florianópolis, Santa Catarina. **Biotemas** 23, p. 49-58, 2010.

**CAPITULO 1 – *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze (Arecaceae) melhora as respostas de crescimento e recrutamento sob sua copa em ambiente de restauração em restinga**

## RESUMO

A restauração em ambiente de restinga pode ser prejudicada por fatores abióticos típicos desse ecossistema. A facilitação ecológica é um processo importante no recrutamento de outras espécies nestes ambientes. Com o objetivo de verificar e testar a hipótese de que *Allagoptera arenaria* é uma planta facilitadora realizamos o plantio de *Dalbergia ecastaphyllum* e *Eugenia uniflora*, em duas posições de plantio: Tratamento 1 – sob a copa de *arenaria* (n=30) e 2 - em áreas sem vegetação (n=30). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC). Após um ano verificamos a mortalidade e realizamos medições biométricas, dos atributos foliares, da fluorescência da Clorofila a e a quantificação de pigmentos e comparamos as médias entre as duas posições de plantio pelo Test-t. As duas espécies apresentaram menor mortalidade na posição moita. A biometria de *D. ecastaphyllum* não variou e *E. uniflora* apresentou médias maiores para a altura e o quociente de robustez na posição moita. A massa seca da raiz não variou nas duas espécies. A massa seca da parte aérea (caule e folha) foi maior para as duas espécies na posição moita. O peso seco total foi maior na posição moita em *D. ecastaphyllum* e não variou em *E. uniflora*. A razão entre a raiz e a parte aérea foi significativamente menor na posição moita em *D. ecastaphyllum* e *E. uniflora* não variou. A espessura foliar não variou. A suculência e o conteúdo relativo de água foram maiores na posição moita em *D. ecastaphyllum*. Em *E. uniflora* a suculência foi menor na posição moita não variou para o conteúdo relativo de água. A massa foliar por área foliar foi maior na posição moita em *E. uniflora* e ao contrário, menor para a espécie *D. ecastaphyllum*. Os pigmentos carotenóides, clorofila a e clorofila b não variou. A fluorescência da Clorofila a mostrou um OJIP polifásico típico. Os parâmetros OJIP e do test-JIP não variaram em *D. ecastaphyllum*. Em *E. uniflora* a  $F_0$  foi maior na área aberta e a  $F_M$ ,  $F_v/F_M$  e o  $PI_{abs}$  foram significativamente maiores na posição moita. No test-JIP, os fluxos de  $ABS/RC$  e  $Dl_0/RC$  foram maiores na posição área aberta, não variou para  $TR_0/RC$ , e o  $ET_0/RC$  foi maior na posição moita. Apesar da variação de respostas entre as duas espécies, todos os dados corroboram para que *A. arenaria* seja uma planta facilitadora propiciando uma melhor resposta de crescimento em outras espécies. De fato, atestamos que essa

palmeira melhorou as respostas ecofisiológicas e de crescimento em plântulas de outras espécies em plantio de restauração ecológica no ambiente de restinga.

**Palavras-chave:** Ecofisiologia, Facilitação ecológica, recuperação de áreas degradadas.

## ABSTRACT

Restoration in a restinga environment can be hampered by abiotic factors typical of this ecosystem. Ecological facilitation is an important process in the recruitment of other species in restingas. Ecological facilitation is an important process in the recruitment of other species in the restingas. With the objective of verifying whether *Allagoptera arenaria* is a facilitating plant, we carry out planting in a natural environment of two species, *Dalbergia ecastaphyllum* and *Eugenia uniflora*, in two planting positions: Treatment 1 - under the canopy of sandstone (MOITA) and 2 - in areas without vegetation (OPEN AREAS). The design was completely randomized (DIC). After one year, we verified mortality, performed biometric measurements, leaf attributes, chlorophyll fluorescence and the quantification of pigments, and compared the means between the two planting positions by Test-t. Both species had a lower mortality in the clump position. In biometry, *D. ecastaphyllum* did not vary and *E. uniflora* presented higher averages for height and the robustness quotient in the clump position. The dry mass of the root did not vary in the two species. The dry mass of the aerial part (stem and leaf) was higher for the two species in the clump position. The total dry weight was higher in the clump position in *D. ecastaphyllum* and did not vary in *E. uniflora*. The ratio between the root and the area was significantly lower in the clump position in *D. ecastaphyllum* and *E. uniflora* did not vary. The leaf thickness did not vary. The succulence and the relative water content were higher in the clump position in *D. ecastaphyllum*. In *E. uniflora* the succulence was lower in the clump position, it did not vary for the relative water content. The leaf mass per leaf area was higher in the clump position in *E. uniflora* and on the contrary, lower for the species *D. ecastaphyllum*. Carotenoid pigments, chlorophyll a and chlorophyll b did not vary. The chlorophyll fluorescence showed a typical polyphasic OJIP. The parameters OJIP and test-JIP did not vary in *D. ecastaphyllum*. In *E. uniflora*,  $F_0$  was higher in the open area and  $F_M$ ,  $F_V/F_M$  and  $PI_{abs}$  were significantly higher in the clump position. In the test-JIP, the  $ABS / RC$  and  $DI_0/RC$  flows were higher in the open area position, it did not vary for  $TR_0/RC$ , and the  $ET_0/RC$  was higher in the clump position. Despite the variation in responses between the two species, all data corroborate that the species *A. arenaria* can be considered a key species of the restinga. In fact, we attest that this palm plays the role of a facilitating plant

over other species, improving the ecophysiological and growth responses of seedlings of other species in ecological restoration planting in the restinga environment.

Keywords: Ecophysiology, ecological facilitation, recovery of degraded areas.

## 1. INTRODUÇÃO

A análise de crescimento descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, permitindo acompanhar a dinâmica da produtividade, avaliada por meio de índices fisiológicos e bioquímicos (MAGALHÃES, 1986). Este tipo de análise é considerado um método padrão para obter-se a estimativa da produtividade biológica das comunidades vegetais (MAGALHÃES, 1979) e é um bom indicador sobre o *fitness* de plantas em determinados ambientes (ROSADO & DE MATTOS, 2010).

O crescimento vegetal pode ser influenciado por diversos fatores, sendo as condições ambientais e ecológicas determinantes neste processo, as restingas estão submetidas a condições ambientais extremas, caracterizadas por altas temperaturas, forte incidência de ventos, elevada salinidade, alta mobilidade dos sedimentos, deficiência de nutrientes no solo e déficit hídrico, que tornam o ambiente estressante e limitante à vegetação (MELO JR. & BOEGER, 2015), estes fatores influenciam diretamente nas respostas de crescimento das plantas ali estabelecidas. Relações ecológicas podem reduzir as pressões abióticas e melhorar as respostas de crescimento, a facilitação ecológica, é uma relação positiva entre dois ou mais organismos, onde pelo menos um desses é beneficiado (BERTNESS & CALLAWAY, 1994). No caso das restingas a facilitação pode ser um processo importante no recrutamento, crescimento e desenvolvimento de plantas. De fato, a facilitação ecológica já foi descrita em diversos ecossistemas, sendo mais facilmente observado em extremos ambientais como ecossistemas áridos, alagados, alpinos e mais recentemente nas restingas (CALLAWAY & WALKER, 1997; CASTANHO et al., 2015).

As restingas integram o bioma Mata Atlântica e compreendem um conjunto diversificado de formações vegetais que se desenvolvem sobre sedimentos arenosos de origem marinha ou fluvio-marinha com solos pouco desenvolvidos (MELO JR. & BOEGER, 2015). A vegetação é heterogênea, tanto florística quanto estruturalmente, e varia desde formações herbáceas, arbustiva aberta ou fechada, até arbórea de grande porte (MENEZES & ARAÚJO, 2005). Os estudos sobre os processos de ocupação vegetal nas restingas mostram mecanismos complexos envolvendo dispersores primários e secundários como estratégia de sucesso no estabelecimento das plantas (MENEZES et al., 2017).

Um exemplo clássico é o descrito para *Clusia hilariana* Schltldl que desempenha papel facilitador por apresentar uma distribuição positivamente associada a juvenis de outras espécies de plantas lenhosas. Aliada à atratividade de potenciais dispersores, ela é um bom local para o desenvolvimento de plântulas e formação de núcleos arbustivos, pois atrai mais regenerantes para baixo de sua copa (DIAS et al., 2005). Esta espécie, por sua vez, parece ter sua germinação e estabelecimento facilitados pelas condições geradas em tanques de bromélias (CORREIA et al., 2010), evidenciando interações positivas subsequentes.

Nas restingas a formação arbustiva aberta não inundável é uma das mais comuns no litoral brasileiro, quase sempre associada a presença da palmeira *Allagoptera arenaria* (MENEZES & ARAÚJO, 2005). Desde os primeiros estudos sobre classificação de formações vegetais de restingas no litoral do Estado do Rio de Janeiro, a palmeira *A. arenaria* já era referida como sendo dominante em determinados trechos do cordão arenoso (ULE, 1967; MAGNANINI, 1954; DANSEREAU, 1947). Estudos quantitativos realizados neste tipo de formação confirmaram *A. arenaria* como sendo a espécie de maior valor de importância em Saquarema, RJ (ALMEIDA & ARAÚJO, 1997), e na Marambaia, RJ (MENEZES & ARAÚJO, 1999).

Alguns padrões frequentemente descritos para *A. arenaria* são o alto recrutamento sobre a areia nua, dominância do dossel, posição central em moitas em vegetações que se organizam desta forma e associação espacial positiva com plântulas de outras espécies (ZALUAR & SCARANO, 2000; GESSLER et al., 2008), evidenciando seu papel de espécie facilitadora. Modificações ambientais abaixo da copa de *A. arenaria* reforçam essa hipótese ao revelarem que ocorre enriquecimento de nutrientes no solo devido ao acúmulo de matéria orgânica oriunda da decomposição das folhas da própria planta, diminuição da temperatura no solo e no ar e redução da intensidade do vento, propiciando um microclima mais adequado às condições de germinação e desenvolvimento de outras espécies (MENEZES & ARAÚJO 2000; SCARANO et al., 2004; CARVALHO et al., 2014). Alguns estudos (ZALUAR & SCARANO, 2000; MENEZES & ARAÚJO 2000; SCARANO et al., 2004; GESSLER et al., 2008; CARVALHO et al., 2014; BROGGIO, 2015) já mostraram uma associação

natural positiva de outras espécies à moita de *A. arenaria*, contudo é a primeira vez que se realiza um plantio intencional sob a sua copa.

Além das adversidades naturais, as restingas vêm sofrendo histórica pressão antrópica, sendo área preferencial de ocupação humana. Atualmente, os processos de degradação (especulação imobiliária, portuária, industrial, turística, retirada de areia, fogo, entre outros) a que estas áreas litorâneas estão condicionadas têm ocasionado a perda de extensivas porções deste habitat em um ritmo acelerado (ROCHA et al., 2007). Neste sentido testamos a hipótese de que *A. arenaria* exerce papel de planta facilitadora melhorando as respostas de crescimento e morfofisiológicas em outras espécies. A compreensão sobre os mecanismos ecofisiológicos que facilitem o processo de recuperação de áreas degradadas na restinga, podem contribuir no aprimoramento das técnicas utilizadas na reconstrução da paisagem neste ecossistema.

O objetivo deste trabalho foi verificar se *Allagoptera arenaria* exerce influência nos parâmetros de crescimento e ecofisiológicos em duas espécies (*Dalbergia ecastaphyllum* e *Eugenia uniflora*).

Neste sentido, testamos a hipótese de que *Allagoptera arenaria* exerce papel de planta facilitadora, influenciando de forma positiva nas respostas ecofisiológicas e de crescimento de outras espécies utilizadas em plantio de restauração ecológica em ambiente de restinga.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O experimento ocorreu na praia de Cacimbas, Linhares, ES, especificamente na formação aberta arbustiva não inundável, dominada por *A. arenaria*. Esta formação é comum ao longo do litoral do Sudeste brasileiro, localizada logo após a formação herbácea de praia (MENEZES & ARAÚJO, 2005) (Figura 1). A área apresenta um histórico de perturbação, com alterações na topografia e no solo.

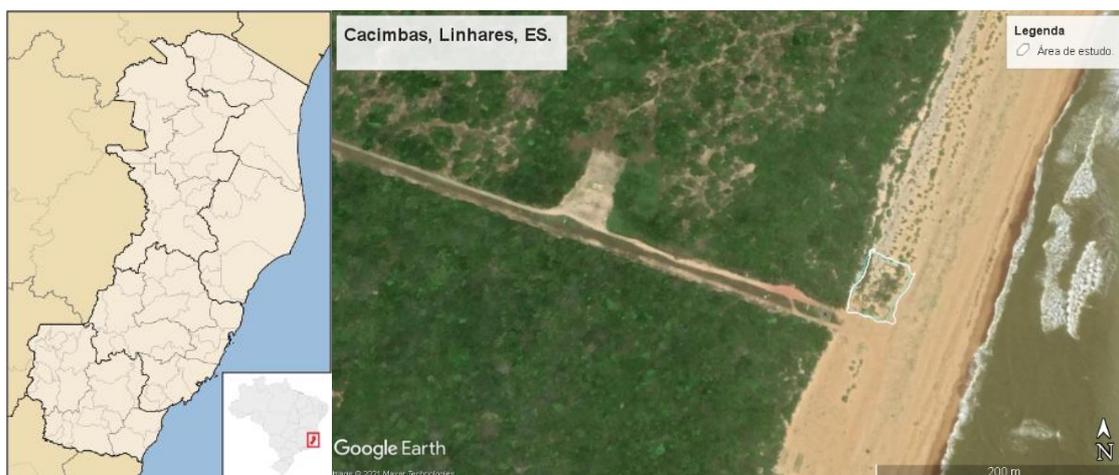


Figura 1 – Localização da área de estudo, praia de Cacimbas no município de Linhares, ES (latitude  $-19.479442^{\circ}$  e longitude  $-39.736216^{\circ}$ ).

O clima da região é tropical quente e úmido (Aw-Köppen) com uma precipitação superior a 1.200 mm anuais, a chuva tem maior ocorrência no período de outubro a março e os meses mais chuvosos são novembro e dezembro (Figura 2).

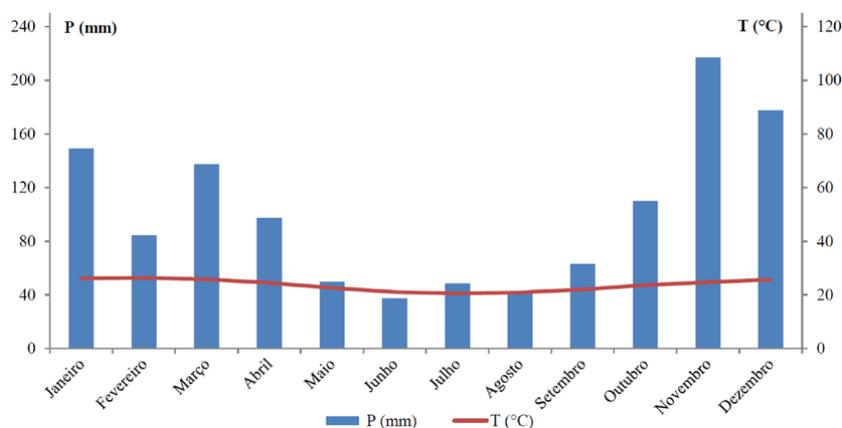


Figura 2: Médias da temperatura e da pluviosidade na região de Linhares. Série histórica 1975-2013). P, precipitação média; T, temperatura média (Saiter, F.Z. *et al.*, 2017).

## 2.2. Materiais

### Seleção das espécies

Inicialmente foram utilizadas quatro espécies, *Dalbergia ecastaphyllum* (L.) Taub. e *Inga laurina* (Sw.) Willd ambas da família FABACEAE e fixadoras de nitrogênio; *Eugenia uniflora* L. (MYRTACEAE) e *Schinus terebinthifolia* Raddi (ANACARDICACEAE) não fixadora de nitrogênio. Porém, devido à alta mortalidade apresentada por *I. laurina* e *S. terebinthifolia* nas duas posições de platios, estas não foram utilizadas nas análises posteriores.

As mudas foram adquiridas no viveiro José Bahia, São Mateus, ES. As mesmas foram germinadas e mantidas em condições de viveiro por um período de 8 meses e após esse período foram aclimatadas a pleno sol por um período de um mês com irrigação diária sendo posteriormente levadas a campo.

### Platio

O plantio foi realizado na restinga e para tal, foram selecionadas 30 moitas de *A. arenaria* com diâmetro igual ou maior do que 1,8 m e altura entre 1 m e 1,6 m, totalizando 60 moitas (30 moitas para cada espécie). Cada moita recebeu 12 mudas de uma mesma espécie sob duas condições de plantio: Tratamento 1 - 6 mudas localizadas na porção interior à moita (MOITA) (Figura 3) e Tratamento 2 - outras 6 mudas dispostas em áreas abertas, na porção externa à moita (ÁREA ABERTA) (Figura 4) totalizando 720 mudas, 360 por espécie (Figura 4A e 4B).

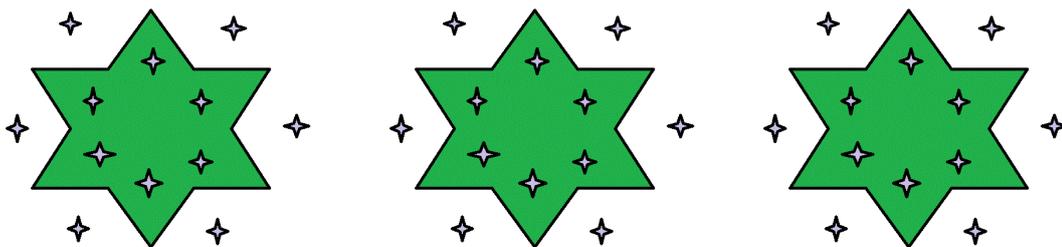


Figura 3: Esquema de plantio, mudas na posição moita ocupam a porção mediana e em área aberta ceca de 60 cm de distancia da borda da moita. Restinga de Degredo, Linhares, ES.

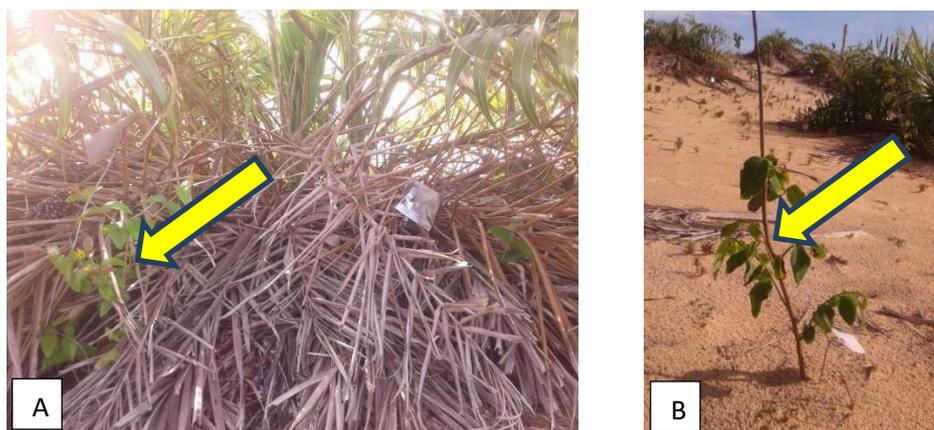


Figura 4: A – Indivíduos de *Eugenia uniflora* L na posição MOITA; B - Indivíduo de *D. ecastaphyllum* (L) Taub. na posição ÁREA ABERTA. Cacimbas, Linhares, ES.

### 2.3 - Métodos

A sobrevivência das mudas foi avaliada pelo total de sobreviventes em relação ao total de mudas plantadas, sendo consideradas plantas mortas aquelas ausentes do local de plantio ou se presente com o caule seco e ausência de folhas ou que estava ausente do local determinado da cova (BRANCALION et al., 2015).

Na avaliação biométrica das mudas foram mensuradas a altura (H cm), o diâmetro do coleto (DC mm) e o número de folhas (NF und.) (n=30). A altura da muda foi medida com o uso de uma fita métrica, desde o solo até a maior folha expandida. O diâmetro do coleto foi medido com paquímetro digital ( $\pm 0,01$  mm) na base do caule da muda e a contagem do número de folhas foi realizado por observação direta dos indivíduos.

Para a avaliação da biomassa foram sorteadas 18 mudas, das quais foram separadas em raiz, caule e folha, acondicionados em sacos de papel, levados à estufa com circulação de ar forçada ( $70^{\circ}\text{C}/72\text{h}$ ) (n=18). Após esse período, o material foi pesado em balança de precisão digital (0,01g) para a determinação da massa seca da raiz (MSR g), caule (MSC g) e folha (MSF g). Foram calculadas a massa seca total ( $\text{MST}=\text{MSR}+\text{MSC}+\text{MSF}$  g), massa seca da parte aérea ( $\text{MSPA}=\text{MSF}+\text{MSC}$ ), a razão entre a massa seca da raiz e a massa seca da parte aérea (R.R/PA), bem como o quociente de robustez, calculado por meio da razão entre a altura e o diâmetro do coleto (H/DC).

Para a obtenção dos atributos foliares, da quantificação dos pigmentos e na medição da fluorescência da clorofila a foram sorteadas 5 moitas para cada

espécie nas quais foram utilizados 3 indivíduos de cada posição de plantio para a amostragem (n=5). Para os atributos foliares foram utilizadas duas amostras com três discos foliares de 0,84 cm<sup>2</sup> de área obtidos com o uso de um cortador de metal. Em uma balança de precisão (0,01g) os discos foram pesados para determinar o peso fresco (g). Na verificação do peso túrgido (g), os discos foliares foram hidratados em água destilada por 24 horas e novamente pesados. A espessura (mm) foi medida com um paquímetro digital ( $\pm 0,01$ mm) nos discos túrgidos. Após a hidratação os discos foliares foram acondicionados em envelopes de papel e levados à estufa de secagem à temperatura de 70°C, por 24h, e novamente pesados para a determinação do peso seco (g). Foram calculados os seguintes atributos foliares: Suculência (SUC) g/m<sup>2</sup> - diferença entre a massa saturada e a massa seca dividida pela área (KLUGE & TING, 1978); Massa foliar por área foliar (MFA) g/m<sup>2</sup> - estimada pela razão entre a massa seca e área foliar dos discos; Conteúdo relativo de água (CRA) % - (Massa fresca - Massa seca)/(Massa saturada - Massa seca) x 100 (BARRS & WEATHERLEY, 1962).

Para a quantificação dos pigmentos fotossintéticos foram utilizadas 300 mg de material vegetal, obtidos de folha totalmente expandida (n=18 folhas). O material vegetal foi acondicionado em tubos de ensaio contendo 5 ml de acetona 80% e mantido no escuro sob temperatura de 4°C por 48 h para posterior análise espectrofotométrica. As leituras foram feitas a  $\lambda = 480$ ,  $\lambda = 645$ ,  $\lambda = 665$  nm para carotenóides, clorofila *b* e Clorofila *a* respectivamente. Os teores dos pigmentos fotossintéticos, expressos em mg.g<sup>-1</sup>/MF, foram calculados de acordo com as equações de ARNON, (1949) e LICHTENTHALER, (1987), conforme segue:

$$\text{Chl. a} = [(12,7 \cdot A_{663}) - (2,69 \cdot A_{645}) / (1000 \cdot \text{FW})] \cdot V;$$

$$\text{Clorb} = [(22,9 \cdot A_{645}) - (4,68 \cdot A_{663}) / 1000 \cdot \text{FW}] \cdot V;$$

$$\text{Clor. total} = [(20,2 \cdot A_{663}) - (2,69 \cdot A_{645}) / (1000 \cdot \text{FW})] \cdot V;$$

$$\text{Carotenóides} = [(1000 \cdot A_{470} - 1,82 \cdot \text{Clor. a} - 85,02 \cdot \text{Clor. b}) / (198 \cdot V)].$$

A fluorescência transiente foi medida utilizando um fluorômetro portátil Handy-PEA, (Plant Efficiency Analyzer, Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK). As folhas foram previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos utilizando-se cliques foliares (Hanstech) para a oxidação completa do sistema fotossintético. A intensidade da luz que atingiu a folha foi de 3000  $\mu\text{mol}$  (fótons) m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, suficiente

para gerar a fluorescência máxima para todas as amostras (Strasser *et al.*, 2000; 2004).

#### 2.4 - *Delineamento experimental e análise estatística*

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC - n=30). Os dados obtidos, após a análise dos pressupostos de Normalidade, Homogeneidade e Homocedasticidade tiveram suas médias comparadas pelo Teste-t ( $p < 0,05$ ), este teste é o mais indicado para comparar médias entre dois grupos independentes. As análises foram realizadas utilizando o software R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Mortalidade

A mortalidade foi significativamente menor na posição moita para as duas espécies analisadas. Na posição moita *D. ecastaphyllum* apresentou mortalidade de 45 indivíduos (25%) e na posição área aberta foi de 62 (34%). Já *E. uniflora*, apresentou mortalidade de 30 indivíduos (17%) na posição moita e de 96 (53%) na posição área aberta (Figura 5).

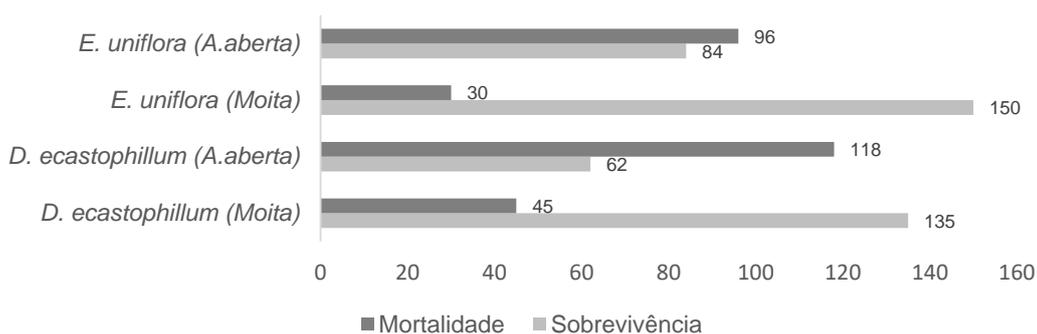


Figura 5: Comparação da mortalidade nas duas posições de plantio. *Dalbergia ecastaphyllum* (L) Taub. (p-valor = 7.97e-16 \*\*\*); *Eugenia uniflora* L. (p-valor = 4.032e-14 \*\*\*) (n=30).

#### 3.2 Biometria

A espécie *D. ecastaphyllum* não apresentou diferenças significativas para as variáveis de altura, diâmetro do coleto, número de folha e quociente de robustez. Já em *E. uniflora* foi observada médias significativamente maiores para a altura e o quociente de robustez (QR) na posição moita e não apresentou diferenças para o diâmetro do coleto e o número de folha entre as duas posições de plantio (Tabela 1).

Tabela 1: Altura (H cm), diâmetro do coleto (DC mm), número de folhas (NF und.) e o quociente de robustez (QR) para as duas posições de plantio, Cacimbas, Linhares, ES.

<i>D. ecastaphyllum</i>	H cm	DC mm	NF und.	QR
MOITA	112.94±40.81 a	16.43±8.36 a	47.77±42.73 a	9.06±3.08 a
Á. ABERTA	113.22±41.65 a	11.92±11.18 a	56.91±41.25 a	14.17±2.21 a
p-valor	0.9805	0.3458	0.5023	0.3581
<i>E. uniflora</i>	H cm	DC mm	NF und.	QR
MOITA	16.22±5.4 a	4.46±1.66 a	18.05±10.91 a	4.02±1.81 a
Á. ABERTA	9.00±3.3 b	3.79±0.95 a	16.05±8.83 a	2.41±0.75 b
p-valor	4.3e-05 ***	0.1519	0.5620	0.0020 **

Dados: (média ± desvio padrão) letra diferente na coluna indica diferença significativa entre os tratamentos. Teste-t - p<0,05 (0 \*\*\*\*/0.001 \*\*\*/0.01 \*\*/0.05 .'), (n=30).

Nas duas espécies, a massa seca da raiz não apresentou variação significativa entre as posições de plantios. O mesmo não ocorreu com a massa seca da parte aérea que foi significativamente maior na posição de plantio moita nas duas espécies. O peso seco total foi significativamente maior na posição moita em *D. ecastaphyllum* porém, não foi observada diferença para *E. uniflora*. Quanto a razão entre a raiz e a parte aérea foi significativamente menor na posição moita em *D. ecastaphyllum* e *E. uniflora* não apresentou diferença significativa neste parâmetro (Tabela 2).

Tabela 2: Peso seco da raiz (PSR g), peso seco da parte aérea (PSPA g), peso seco total (PST g) e a razão entre a raiz e a parte aérea (R/PA), Cacimbas, Linhares, ES.

<i>D. ecastaphyllum</i>	PSR g	PSPA g	PST g	R.R/PA
MOITA	23.66±11.76 a	126.00±70.77a	149.66±82.12 a	0.19±0.03 b
Á. ABERTA	16.88±9.02 a	67.11±53.21 b	84.00 ±62.01 b	0.30±1.06 a
p-valor	0.0677	0.0096 **	0.01266 *	0.0003 ***
<i>E. uniflora</i>	PSR g	PSPA g	PST g	R/PA
MOITA	2.31±0.93 a	1.80±0.61 a	4.14±1.03 a	1.40±0.76 a
Á. ABERTA	2.16±0.87 a	1.39±0.66 b	3.55±1.26 a	1.68±0.61 a
p-valor	0.5935	0.0451 *	0.1543	0.2220

Dados: (média ± desvio padrão) letra diferente na coluna indica diferença significativa entre os tratamentos. Teste-t -  $p < 0,05$  (0 \*\*\*\*/0.001 \*\*\*/0.01\*\*/0.05'), (n=6).

### 3.3 Atributos foliares

As duas espécies não apresentaram diferenças significativas na espessura foliar em relação às duas posições de plantio. A suculência e o conteúdo relativo de água foram significativamente maiores na posição moita em *D. ecastaphyllum*. Em *E. uniflora* a suculência foi menor na posição moita, não sendo observadas variações significativas para o conteúdo relativo de água nesta espécie. A massa foliar por área foliar foi significativamente maior na posição moita em *E. uniflora* e ao contrário, menor para *D. ecastaphyllum* nesta posição (Tabela 3).

Tabela 3: Espessura foliar (ESP mm), suculência (SUC g/m<sup>2</sup>), massa foliar por área (MFA g/m<sup>2</sup>) e o conteúdo relativo de água (CRA %), Cacimbas, Linhares, ES.

<i>D. ecastaphyllum</i>	ESP	SUC	MFA	CRA
MOITA	0.28±0.04 a	231.7±25.55 a	46.7±5.61 b	85.5±5.89 a
Á. ABERTA	0.27±0.03 a	185.2±24.63 b	89.5±14.66 a	78.0±8.67 b
p-valor	0.7	3.7e-05 ***	6.4e-11 ***	0.0 *
<i>E. uniflora</i>	ESP mm	SUC g/m <sup>2</sup>	MFA g/m <sup>2</sup>	CRA %
MOITA	0.28±0.04 a	107.52±32.82 b	87.04±18.37 a	47.0 ±14.75 a
Á. ABERTA	0.27±0.03 a	177.68±27.86 a	59.87±14.34 b	53.97±14.31 a
p-valor	0.7305	1.377e-06 ***	0.0001 ***	0.2161

Dados: (média ± desvio padrão) letra diferente na coluna indica diferença significativa entre os tratamentos. Teste-t - p<0,05 (0 '\*\*\*\*' /0.001 '\*\*\*'/0.01 '\*\*'/0.05'.), (n=5).

### 3.4 Pigmentos fotossintetizantes

Não foram observadas variações significativas na quantificação das concentrações dos carotenóides, clorofila *a* e clorofila *b*, assim como para a clorofila total e a razão clorofila *a/b* para as duas espécies nas duas posições de plantio (Tabela 4).

Tabela 4: Carotenoides (Car), Clorofila *b* (Clo *b*), Clorofila *a* (Clo *a*), Clorofila total (Clo T) e a razão entre a Clorofila *a/b* (Clo *a/b*), Cacimbas, Linhares, ES.

<i>D. ecastaphyllum</i>	Car	Clor <i>b</i>	Clor <i>a</i>	Clor T	Razão
	mg.g <sup>-1</sup> /MF	mg.g <sup>-1</sup> /MF	mg.g <sup>-1</sup> /MF	mg.g <sup>-1</sup> /MF	Clor <i>a/b</i>
MOITA	0.84±0.22 a	0.35±0.33 a	1.20±0.36 a	1.55±0.61a	3.38±0.07 a
Á. ABERTA	0.82±0.13 a	0.37±0.09 a	1.19±0.23 a	1.57±0.37 a	3.22±0.02 a
p-valor	0.7545	0.6774	0.9727	0.9067	0.1273
<i>E. uniflora</i>	Car	Clor <i>b</i>	Clor <i>a</i>	Clor T	Razão
	mg.g <sup>-1</sup> /MF	mg.g <sup>-1</sup> /MF	mg.g <sup>-1</sup> /MF	mg.g <sup>-1</sup> /MF	Clor <i>a/b</i>
MOITA	0.64±0.13 a	0.37±0.07 a	0.82±0.26 a	1.20±0.33 a	2.39±0.25 a
Á. ABERTA	0.54±0.21 a	0.24±0.11 a	0.64±0.44 a	0.88±0.55 a	2.55±0.27 a
p-valor	0.2728	0.13	0.14	0.11	0.33

Dados: (média ± desvio padrão) letra diferente na coluna indica diferença significativa entre os tratamentos. Teste-t - p<0,05 (0 '\*\*\*\*' /0.001 '\*\*\*'/0.01 '\*\*'/0.05'.), (n=5).

### 3.5 – Fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência transiente da clorofila *a* medida nas duas posições de plantio nas duas espécies então representadas na figura 6. As curvas de fluorescência da Clorofila *a* mostraram um OJIP polifásico típico para as duas espécies com os passos J e I bem definidos nas duas posições de plantio. No entanto, reduções

nas etapas J, I e P foram observadas em *E. uniflora*, principalmente na posição de plantio área aberta (Figura 6).

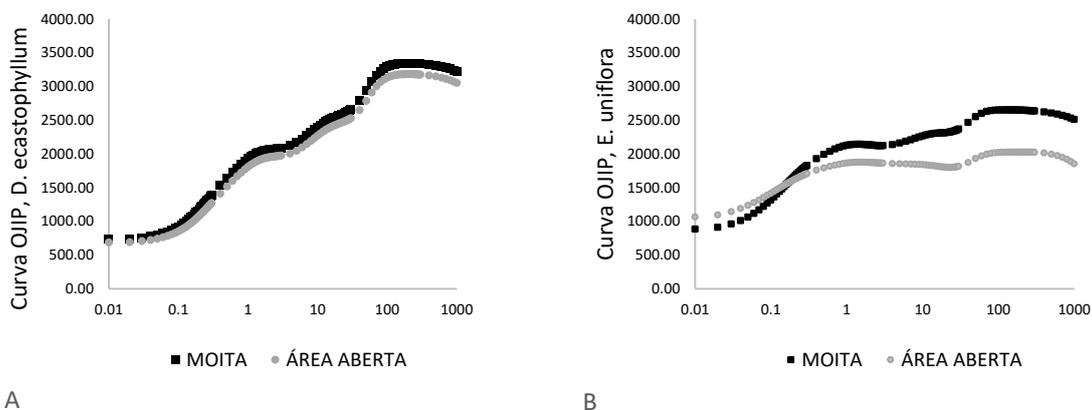


Figura 6: Intensidade transiente de fluorescência da Clorofila a em folhas adaptadas ao escuro, medidas em duas espécies: A - *D. ecastaphyllum* (L.) Taub. e, B- *E. uniflora* (L.), Cacimbas, Linhares, ES.

A fluorescência inicial ( $F_0$ ) e a máxima ( $F_M$ ) não apresentaram variações significativas entre as duas posições de plantio em *D. ecastaphyllum*, o mesmo ocorrendo para a máxima eficiência fotoquímica ( $F_v/F_M$ ) (Tabela 5). Estes mesmos parâmetros foram significativamente diferentes para *E. uniflora*, a  $F_0$  apresentou maiores médias na posição área aberta e a  $F_M$  e a  $F_v/F_M$  foram significativamente maiores na posição de plantio moita (Tabela 6).

Não foi observado variação significativa em *D. ecastaphyllum* para os fluxos específicos de energia por centro de reação entre as duas posições de plantio. Em *E. uniflora* as médias foram significativamente maiores para os fluxos de absorção e dissipação na posição área aberta, não variou para o fluxo de captura e foi significativamente maior para o fluxo de transporte na posição moita (Tabela 6).

Tabela 5: Fluorescência basal ( $F_0$ ), Fluorescência máxima ( $F_M$ ), máxima eficiência fotoquímica ( $F_v/F_M$ ), Cacimbas, Linhares, ES.

<i>D. ecastaphyllum</i>	$F_0$	$F_M$	$F_v/F_M$
MOITA	628.6±65.76 a	3184.66±347.30 a	0.79±0.03 a
Á. ABERTA	667.0±62.98 a	3347.46±281.71 a	0.79±0.02 a
p-valor	0.1258	0.1840	0.9871
<i>E. uniflora</i>			
MOITA	863.57±189.90 b	2599.21±420.68 a	0.65±0.12 a
Á. ABERTA	1097.80±308.01 a	2035.46±327.55 b	0.45±0.17 b
p-valor	0.02583 *	0.005775***	0.001848 **

Dados: (média ± desvio padrão) letra diferente na coluna indica diferença significativa entre os tratamentos. Teste-t -  $p < 0,05$  (0 \*\*\*\*/0.001 \*\*\*/0.01\*\*/0.05'.), (n=5).

Tabela 6: fluxo específico de energia por centro de reação: ABS/RC – fluxo de absorção;  $TR_0/RC$  – fluxo de energia capturada;  $ET_0/RC$  – fluxo de transporte de elétrons;  $Dl_0/RC$  – fluxo de dissipação de elétrons, Cacimbas, Linhares, ES.

Esp./TRAT.	ABS/RC	$TR_0/RC$	$ET_0/RC$	$Dl_0/RC$
<i>D. ecastaphyllum</i>				
MOITA	2.28±0.06 a	1.73±0.04 a	0.85±0.05 a	0.55±0.29 a
ÁREA ABERTA	2.45±0.04 a	1.85±0.03 a	0.93±0.39 a	0.59±0.29 a
p-valor	0.33	0.2666	0.1227	0.5146
<i>E. uniflora</i>				
MOITA	5.56±1.59 b	2.93±0.25 a	0.75±0.2 a	2.62±1.53 b
ÁREA ABERTA	10.12±5.79 a	3.02±0.33 a	0.45±0.3 b	7.10±5.53 a
p-valor	0.0109 *	0.458	0.01729 *	0.008859 **

Dados: (média ± desvio padrão) letra diferente na coluna indica diferença significativa entre os tratamentos. Teste-t -  $p < 0,05$  (0 \*\*\*\*/0.001 \*\*\*/0.01\*\*/0.05'.), (n=5).

#### 4. DISCUSSÃO

A menor mortalidade de mudas observada na posição de plantio moita para as duas espécies utilizadas neste estudo sugere que *A. arenaria* pode estar relacionada ao papel facilitador, características como a sua arquitetura, folhas verticiladamente pinadas, de vida longa e distribuídas em roseta a partir de um caule subterrâneo atuou para a redução da mortalidade nas mudas de *D. ecastaphyllum* e *E. uniflora*. Os percentuais de mortalidade apurados na área aberta estão de acordo com os padrões observados para este ecossistema que ficam em torno de 40 a 60% de mortalidade (CORREIA & CREPALDI, 2011; ZAMITH & SCARANO, 2006).

As duas espécies utilizadas apresentaram plasticidade fenotípica distinta para os parâmetros morfofisiológicos e responderam de forma específica às duas posições de plantio, este fato está ligado a características ontogênicas das espécies além dos aspectos funcionais como a capacidade de fixar nitrogênio nas Fabaceas. A área de plantio apresenta histórico de perturbação, segundo RODRIGUES, 2011 alterações na topografia e no solo e esse fato são fatores limitantes ao incremento dos parâmetros biométrico e de biomassa em plantio na restinga. Outros fatores que atuam sobre a reposta de crescimento e desenvolvimento são os solos pobres em nutrientes, alta incidência de luz e forte ação do vento, fatores comuns em todas as restingas, mas que podem ser atenuados pela ação de plantas facilitadoras (SCARANO et al., 2004).

Em plantio realizado na Reserva Particular Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Caruara, *E. uniflora* apresentou os menores incrementos de altura e do diâmetro do coleto nas áreas secas, sugerindo que esta espécie não seja uma boa opção para plantios em restinga aberta não inundável (TIEPPO & BRANCALION, 2016). A espécie *D. Ecastaphyllum* cresce sobre dunas de areia podendo formar arbustos ou até mesmo arvoretas que podem chegar a 6 m de altura. Muito bem adaptada às condições salinas, apresenta nódulos em suas raízes que facilitam a fixação do nitrogênio no solo através da associação com bactérias (CARVALHO. 1997; SOUZA & CAPELLARI, 2004).

As duas espécies, na posição de plantio moita apresentaram um maior acúmulo de biomassa refletindo os benefícios da associação entre as mudas com as moitas de *A. arenaria*. A biomassa vegetal ocupa uma porção aérea e uma

porção subterrânea. As proporções entre essas biomassas não são constantes. Variações observadas se devem a fatores como características genéticas, idade e condições ambientais (CASTRO & KAUFFMAN, 1998).

Segundo CARNEIRO, (1995) o quociente de robustez (H/DC) deve situar-se entre os limites de 5,4 e 8,1. No presente trabalho foram encontrados valores médios acima ou abaixo do ideal para as duas espécies, sendo que os valores mais próximos ao ideal estão associados a posição moita em ambas as espécies. Essa palmeira emite constantemente folhas, com a senescência se decompõem e provocam alterações nutricionais no solo sob sua copa permitindo que as mudas façam um maior investimento na porção aérea (VITOUSEK, 1984; VITOUSEK & SANFORD, 1986; GLEESON & TIMAN, 1990; NADKARNI & MATEISON, 1992).

As duas espécies apresentaram respostas diferentes em relação a razão entre a raiz e a parte aérea. *D. ecastaphyllum* investiu na parte aérea, enquanto a espécie *E. uniflora* acumulou mais biomassa na parte radicular. As biomassas aérea e radicular são variáveis importantes na avaliação da capacidade das plantas de se aclimatarem a ambientes extremos. O mecanismo que controla a partição de biomassa entre a parte aérea e a raiz foi postulado por BROUWER, (1983), através do modelo denominado equilíbrio funcional. De acordo com este princípio, o crescimento da raiz estaria sob controle de fotoassimilados e o crescimento da parte aérea limitado pelos nutrientes disponíveis para a raiz (THORNLEY, 1995). Segundo este modelo, as plantas direcionariam a alocação de biomassa para a parte aérea se o ganho de carbono fosse limitado por baixa disponibilidade de recursos tais como, luz e CO<sub>2</sub> ou para as raízes sob limitação de nutrientes minerais e água (POORTER & NAGEL, 2000). Altas irradiâncias implicam em maiores taxas fotossintéticas por unidade de massa foliar e, conseqüentemente, maior taxa de absorção de água em razão do aumento na transpiração, bem como uma maior necessidade de absorção de nutrientes em razão de o crescimento ser estimulado. Conseqüentemente, segundo o modelo do equilíbrio funcional, espera-se que, sob altas irradiâncias, a alocação de biomassa para as folhas decresça e a alocação para as raízes aumente. As espécies consideradas tolerantes mostraram pouca plasticidade no que se refere à alocação. Neste caso a espécie *D. ecastaphyllum* mostrou-se mais plástica, o

que pode sugerir uma maior habilidade em responder às variações na irradiância durante o seu estabelecimento.

Diferenças nas características associadas à obtenção e uso de recursos entre espécies de uma comunidade têm sido apontadas como um fator que propicia a coexistência de grande número de espécies (AMARASEKARE, 2003). Os solos arenosos da restinga aberta não inundável não favorecem a retenção de água e nutrientes, de modo que as plantas estão frequentemente sujeitas a flutuações temporais na disponibilidade de água (de MATTOS et al., 2004). Além disso, o padrão de precipitação para a área é fortemente marcado por um período de menor precipitação e deficiência hídrica no solo ao longo do inverno entre os meses de maio a agosto. As condições ambientais extremas podem restringir o número de alternativas adaptativas possíveis, resultando em maior similaridade de respostas a estresses de diversas naturezas (GRIME, 1977).

Maiores valores de espessura e suculência foliares estão associados à maior capacidade de estocagem de água o que propiciaria fontes alternativas de água durante períodos de menor disponibilidade hídrica em plantas que ocorrem em ambientes áridos (LAMONT & LAMONT, 2000). Em dez espécies de restingas, ROSADO & MATTOS, (2007), observaram convergência dos atributos foliares evidenciando a natureza das respostas a heterogeneidade temporal na disponibilidade de água, onde a espessura, a suculência, a massa foliar específica e o conteúdo relativo de água tendem a aumentar com a limitação do recurso hídrico. Neste sentido *D. ecastaphyllum* se mostrou mais plástica respondendo com médias significativamente maiores na posição de plantio moita, o contrário da espécie *E. uniflora*.

Em ambientes com recursos escassos, como as restingas, as plantas tendem a apresentar alta MFA, longevidade foliar e menor concentração de nutrientes nos tecidos foliares, o que denota o uso conservativo de recursos (NIINEMETS 2001; WRIGHT et al., 2002, 2004). A maior média para a MFA na posição de plantio moita na espécie *E. uniflora* pode significar uma alta produtividade com o uso de recursos previamente absorvidos (POORTER & VAN DER WERF 1998; VAN DER WERF et al., 1998; WILSON et al., 1999).

Nas duas espécies não foram observadas variações significativas na quantificação da concentração dos pigmentos fotossintéticos. De fato, as espécies

vegetais apresentam capacidade natural de produzir pigmentos cloroplastídicos ajustados as condições e necessidades impostas pelo ambiente. Assim, os resultados podem indicar uma adaptação cromática das duas espécies que possivelmente auxiliem no seu desempenho fotossintético independentemente da posição de plantio. Segundo LARCHER, (2004), ecologicamente, as alterações na biossíntese de clorofilas pelas variações espectrais podem proporcionar vantagens quanto ao crescimento e sucesso reprodutivo das espécies vegetais.

A observação dos transientes OJIP nas duas espécies exibiu uma supressão da curva entre os pontos J, I e P na posição área aberta e conseqüentemente refletiu uma redução nos valores de  $F_M$ . Essa diferença foi menor para *D. ecastaphyllum* em relação à *E. uniflora* evidenciando maior eficiência no uso da luz da primeira (GONÇALVES et al., 2007). Além disso, *E. uniflora* apresentou maior estoque de aceptores de elétrons do fotossistema II na posição moita, como evidenciado pela fluorescência máxima ( $F_M$ ). Por outro lado, na posição área aberta pode ter ocorrido um desbalanço entre o fluxo de elétrons do lado doador (Yz) para o centro de reação (RC) e o fluxo de elétrons do RC para o lado receptor (QA) com conseqüente diminuição da fluorescência máxima ( $F_M$ ) (STRASSER, 1997). Os valores da fluorescência variável mostraram que a espécie *E. uniflora* sofreu fortemente o estresse por alta incidência de irradiância na posição área aberta, uma vez que a forma do transiente na fase J foi menos pronunciada em relação às plantas na posição moita (Figura 4). Este fato também foi observado em plantas de copaíba (*Copaifera multijuga*) e de mogno (*Swietenia macrophylla*) crescendo sob duas condições de irradiância (GONÇALVES et al., 2007).

Analisando-se os valores da eficiência máxima do fotossistema II ( $F_V/F_M$ ) para as duas espécies estudadas, constatou-se padrões distintos em resposta a posição de plantio. Verificou-se que *D. ecastaphyllum* apresentou valores médios para  $F_V/F_M$  dentro de uma faixa considerada saudável e, ao contrário, *E. uniflora* apresentou valores abaixo dessa faixa. Segundo BOLHÀR-NORDENKAMF et al., (1989), plantas com o aparato fotossintético em condições saudáveis de funcionamento apresentam valores de  $F_V/F_M$  entre 0,75 e 0,85. A alta irradiância pode ter provocado uma a fotoinibição em *E. uniflora* ocasionando perda de eficiência fotoquímica nesta espécie (THACH et al., 2007).

Os fluxos específicos de elétrons mostraram que *D. ecastaphyllum* não apresentou variação significativa para ABS/RC, TR<sub>0</sub>/RC, ET<sub>0</sub>/RC e DI<sub>0</sub>/RC, sugerindo uma maior capacidade desta espécie de tolerar o estresse corroborando com os valores observados para a máxima eficiência fotoquímica em torno 0,8 nesta espécie. Contudo, *E. uniflora* apresentou um aumento significativo para ABS/RC na posição área aberta. Em condição de alta irradiância, frequentemente, as folhas absorvem mais energia do que podem ser utilizadas pela fotossíntese, e para evitar uma situação de foto dano, dissipam o excesso da energia em forma de calor ou fluorescência, com conseqüente perda na produtividade fotossintética (KRAUSE et al., 2001; THACH et al., 2007), fato que quase sempre leva a diminuição na incorporação de CO<sub>2</sub> e diminuição nas fases de crescimento (GONÇALVES, et al., 2010). Este fato também pode ser observado no aumento significativo de ET<sub>0</sub>/RC na posição moita e de DI<sub>0</sub>/RC na posição área aberta. Elevados valores de DI<sub>0</sub>/RC estão associados à ocorrência da fotoinibição. É válido ressaltar que processos fotoinibitórios estão relacionados também às reduções na eficiência máxima de captura de energia de excitação, ou F<sub>V</sub>/F<sub>M</sub> como observado neste estudo (ARAÚJO & DEMINICIS, 2009). O fluxo de dissipação de energia de excitação em relação ao número de centros de reação (DI<sub>0</sub>/RC) podem ser influenciados pela razão de centros de reação ativos e inativos (ARAÚJO & DEMINICIS, 2009). No presente estudo, o aumento significativo de DI<sub>0</sub>/RC observados em *E. uniflora* está refletindo a inativação de centros de reação como resposta ao estresse, evidenciando uma maior sensibilidade desta espécie na posição área aberta.

## 2 CONCLUSÕES

A espécie *Allagoptera arenaria* influencia de forma significativa na taxa de mortalidade e nas respostas ecofisiológicas de outras espécies que crescem sob sua copa.

O maior acúmulo de biomassa na parte aérea na posição de plantio moita é resultado das alterações promovidas no solo sob a copa de *A. arenaria* facilitando o crescimento de outras espécies.

De modo geral os aspectos ecofisiológicos apresentaram melhor performance na posição de plantio moita, evidenciando que a arquitetura da palmeira *A. arenaria* atua como facilitadora, podendo ser utilizada como nucleadora em plantio de restauração ambiental de ecossistema de restinga.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. L.; ARAÚJO, D. S. D. Comunidades vegetais do cordão arenoso externo da Reserva Ecológica Estadual de Jacarepiá, Saquarema, RJ. **Oecologia Brasil**, v. 3, p. 45 - 61, 1997.

AMARASEKARE, P. Competitive coexistence in spatially structured environments: a synthesis. **Ecology Letters** 6: 1109-1122. 2003.

ARAÚJO, S.A.C & DEMINICIS, B.B. Revisão Fotoinibição da Fotossíntese. **R. Bras. Bioc.**, Porto Alegre, v.7, n.4, p. 463-472. 2009.

ARNON, D.J. Copper enzyme in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**. 24:1-15.1949.

BARRS, H.D. & WEATHERLEY, P.E.: A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**.15:413-428. 1962.

BERTNESS, M.D. & R. CALLAWAY. Positive interactions in communities. **Trends in Ecology and Evolution**, 9:191–193. 1994.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LONG, S.P., BAKER, N.R., *et al.*, Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, v.3, p.497-514, 1989.

- BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. Piracicaba, SP: **LASTROP**, 2015.
- BROGGIO, I.F. Existe facilitação por *A. arenaria* (Gomes) Kuntze (ARECACEAE) em ecossistemas de restinga. **Monografia do curso de Ciências Biológicas (Bacharelado)**. UFES/CEUNES. 2015.
- BROUWER, R. Functional equilibrium: sense or nonsense? *Neth. J. Agr. Sci.* 31:335-348. 1983.
- CALLAWAY, R. M.; WALKER, L. R. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. **Ecology**, v. 78, n. 7, p. 1958-1965, 1997.
- CARNEIRO, J. G. A. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: **UFPR/FUPEF**, 451 p., 1995.
- CARVALHO, A. M. A synopsis of the genus *Dalbergia* (Fabaceae: Dalbergieae) in Brazil. **Brittonia**, 49:87-109. 1997.
- CARVALHO, D.C. de; Pereira, M.G.; Menezes, L.F.T. DE. Aporte de biomassa e nutrientes por *Allagoptera arenaria* na restinga da Marambaia, Rio de Janeiro, RJ. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 349-358, 2014.
- CASTANHO, C. T.; OLIVEIRA, A. A.; PRADO, P. I. Does extreme environmental severity promote plant facilitation? An experimental field test in a subtropical coastal dune. **Oecologia**, v. 178, n. 3, p. 855-866, 2015.
- CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 14, p. 263-283, 1998.
- CORREIA, G. G. S. & CREPALDI, M. O. S. Taxas de crescimento e mortalidade de espécies em áreas em restauração, Parque Estadual de Itaúnas, ES. **Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental**, Guarapari, E.S., 2011.
- CORREIA, C. M. B.; DIAS, A. T. C.; SCARANO, F. R. Plant-plant associations and population structure of four woody plant species in a patchy coastal vegetation of Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 33, n. 4, p. 607-613, 2010.
- DANSEREAU, P. Zonation et succession sur la restinga de Rio de Janeiro. I. Halosére. **Revue Canadienne de Biologie** 6(3): 448-477. 1947.

de MATTOS, E.A.; BRAZ, M.I.G.; CAVALIN, P.O.; ROSADO, B.H.P.; GOMES, J.M.; MARTINS, L.S.T. & ARRUDA, R.C.O. Variação espacial e temporal em parâmetros fisiocológicos de plantas. Pp. 99-116. In: C.F.D. Rocha; F.A. ESTEVES & F.R. SCARANO (eds.). Pesquisas de longa duração na restinga de Jurubatiba. **Ecologia, história natural e conservação**. São Carlos, RiMa Editora. 2004.

DIAS, A. T. C.; ZALUAR, H. L. T.; GANADE, G.; SCARANO, F. R. Canopy composition influencing plant patch dynamics in a Brazilian sandy coastal plain. **Journal of tropical ecology**, v. 21, n. 03, p. 343- 347, 2005.

GESLER *et al.*, Comparison of the performance of three different ecophysiological life forms in a sandy coastal restinga ecosystem of SE-Brazil: a nodulated N<sub>2</sub>-fixing C<sub>3</sub>-shrub (*Andira legalis* (Vell.) Toledo), a CAM-shrub (*Clusia hilariana* Schltdl.) and a tap root C<sub>3</sub>hemipterophyte (*Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze.) **Trees**. 22:105–19. 2008.

GLEESON, L. K. & TILMAN, D. Allocation and the transient dynamics of succession on poor soils. **Ecology**, 71: 1144-1155. 1990.

GONÇALVES, J.F.C.; SANTOS JR., U.M.; NINA JR., A.R.; CHEVREUIL, L.R. 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. 2007.

GONÇALVES, J.F.C.; SILVA, C.E.; GUIMARÃES, D.G.; FERNANDES, R. S. Análise dos transientes da Fluorescência da clorofila *a* de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipterix odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazonica**. Vol. 40(1), p. 89-98. 2010.

GRIME, J.P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. **American Naturalist** 111: 169-194. 1977.

HENTSCHEL, R. L. Gradiente vegetacional, variáveis ambientais e restauração na restinga da Praia do Ouvidor, Garopaba, Santa Catarina. **Dissertação (Mestrado em Ciências: Botânica)** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 18 de abril de 2008.

KLUGE, M. & TING, I.P. Crassulacean Acid Metabolism: Analysis of an Ecological Adaptation. Berlin, **Springer-Verlag**. 1978.

- KRAUSE, G.H.; KOROLEVA, O.Y.; DALLING, J.W.; WINTER, K. 2001. Acclimation of tree seedling to excessive light in simulated treefall gaps. **Plant, Cell and Environment**, 24: 1345-1352. 2001.
- LAMONT, B. E LAMONT, H. 2000. Utilizable water in leaves of 8 arid species as derived from pressure-volume curves and chlorophyll fluorescence. **Physiologia Plantarum** 110: 64-71. 2000.
- LARCHER, W.; **Ecofisiologia vegetal**. Editora Rima, São Carlos. 2004.
- LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymol.** 148:350-382. 1987.
- MAGALHÃES, A.C.N. Análise e quantitativa do crescimento. In: **Fisiologia Vegetal**. Editora s EPU e EDUSP, São Paulo, 1:331-350. 1979.
- MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1: 331-350. 1986.
- MAGNANINI, A. Contribuição ao estudo das zonas de vegetação da praia de Sernambetiba, DF. **Arquivos do Serviço Florestal** 8: 147-232. 1954.
- MENEZES L. F. T. & ARAÚJO, D. S. D. Estrutura de duas formações vegetais do cordão externo da restinga de Marambaia-RJ. **Acta Botanica Brasilica** 13(2): 223-235. 1999.
- MENEZES L. F. T. & ARAÚJO, D. S. D. Variação da biomassa aérea de *Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Kuntze numa comunidade arbustiva de Palmae na Restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Biologia** 60(1): 47-157. 2000.
- MENEZES L. F. T. & ARAÚJO, D. S. D. Formações vegetais da Restinga da Marambaia. In Menezes LFT, Araújo DSD (Orgs.). **História Natural da Marambaia**. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2005.
- MENEZES, L.F. T.; PUGNAIRE, F.I.; MATAALLANA, G.; NETTESHEIM, F.C.; CARVALHO, D.C.; MATTOS, E.M. Disentangling plant establishment in sandy coastal systems: biotic and abiotic factors that determine *Allagoptera arenaria* (Arecaceae) germination. **Acta Botanica Brasilica**. doi: 10.1590/0102-33062017abb0121. 2017.
- NADKARNI, N. M. & MATEISON, T. J. Biomass and nutrient dynamics of fine litter of terrestrially rooted material in a neotropical montane forest, Costa Rica. **Biotropica**, 24: 113-120. 1992.

NIINEMETS, Ü. 2001. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area density, and thickness in trees and shrubs. **Ecology** 82: 453-469. 2001.

POORTER, H. & NAGEL, O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO<sub>2</sub>, nutrients and water: a quantitative review. **Australian Journal of Plant Physiology** 27: 595–607. 2000.

POORTER, H.; VAN DER WERF, A. Is inherent variation in RGR determined by LAR at low irradiance and by NAR at high irradiance? **A review of herbaceous species**. In 'Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences'. (Eds H Lambers, H Poorter and MMI Van Vuuren) pp. 309–336. (Backhuys Publishers: Leiden, The Netherlands). 1998.

RODRIGUES, R.R. et al., Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forest in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, Oxford, n. 26 p.1605-1613, 2011.

ROSADO, B.H.P. & de MATTOS E.A. Variação temporal de características morfológicas de folhas em dez espécies do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**. 21:741-762. 2007.

ROSADO, B.H.P. & E.A. de MATTOS. Interspecific variation of functional traits in a CAM-tree dominated sandy coastal plain. **Journal of Vegetation Science**, 21:43-54. 2010.

SAITER, F. Z., et. al. Uma revisão sobre a controversa classificação fisionômica da floresta de Linhares, Norte, Espírito Santo. **Rodriguesia** 68(5): p.1987-1999, 2017.

SCARANO, F.R.; CIRNE, P.; NASCIMENTO, M.T.; SAMPAIO, M.C.; VILLELA, D.M.; WENDT, T. & ZALUAR, H.L.T. Ecologia vegetal: integrando ecossistema comunidades, populações e organismos. In: Rocha, C.F.D.; Esteves, F.A. & Scarano, F.R. (orgs). **Pesquisas de longa duração na restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação**. Rio de Janeiro: Rima. p. 77-97. 2004.

SOUZA, V.C. & CAPELLARI Jr., L. A vegetação das dunas e restingas da Estação Ecológica Jureia Itatins, pp. 103-114. Em: **Estação Ecológica Jureia-Itatins- Ambiente físico, flora e fauna** (O.A.V. Marques & W. Duleba, eds.). Holos Editora, Ribeirão Preto, 2004.

STRASSER, B. Donor side capacity of photosystem II probed by chlorophyll a fluorescence transients. **Photosynthesis Research**, 52: 147-155; 1997.

- STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M.; Pathre, P.; Mohanty, P. (Ed.) **Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation, and Adaptation**. London-New York: Taylor and Francis. p. 445-483, 2000.
- STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. ANALYSIS OF FLUORESCENCE TRANSIENT. IN: PAPAFOGIOU, G.; GOVINDJEE (Ed.), Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis, **Springer**, Dordrecht, v. 19, p. 321- 362, 2004.
- SUGIYAMA, M. Estudos florísticos e fitossociológicos em comunidades vegetais de restinga da Ilha do Cardoso, Cananéia, SP. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal de São Carlos, 2003.
- THACH, L.B.; SHAPCOTT, A.; SCHMIDT, S.; CRITCHLEY, C. The OJIP fast fluorescence rise characterizes Graptophyllum species and their stress responses. **Photosynthesis Research**, 94: 423-436. 2007.
- THORNLEY, J.H.M. Shoot: root allocation with respect to C, N and P: an investigation of resistance and teleonomic models. **Annals of Botany** 75: 391-105. 1995.
- TIEPPO, F.M.M. & BRANCALION, P.H.S. Identificando “espécies-estrutura” em técnica de nucleação aplicada para restauração de restingas. In: **IV Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental**. Rio de Janeiro, 2016.
- ULE, E. A vegetação de Cabo Frio. **Boletim Geográfico** 200: 21-32. 1967.
- VAN DER WERF, A.; GEERTS, R.M.; JACOBS, F. H. The importance of relative growth rate and associated traits for competition between species during vegetation succession. In LAMBERS, H.; POORTER, H.; VAN VUUREN, M. M. I. (eds.), **Inherent Variation in Plant Growth. Physiological Mechanisms and Ecological Consequences**. Leiden, Netherlands, Backhuys Publishers, p. 309-336. 1998.
- VITOUSEK, P. M. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. **Ecology**, v.65, p.285-298, 1984.
- VITOUSEK, P. M. & SANFORD Jr., R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Ann. Rev. Ecol. Syst.** 17:137-67. 1986.

- VITOUSEK, P.M. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. **Ecology** 65(1): 285-298. 1984.
- WILSON, J. B. & SYKES, M. T. Is zonation on coastal sand dunes determined primarily by sand burial or by salt spray? A test in New Zealand dunes. **Ecology letters**, v. 2, n. 4, p. 233-236, 1999.
- WRIGHT, I. J.; WESTOBY, M.; REICH, P. B. Convergence towards higher leaf mass per area in dry and nutrient-poor habitats has different consequences for leaf life span. **Journal of Ecology** 90, p. 534– 453. 2002.
- WRIGHT, I. J.; REICH, P.; WESTOBY, M. The world-wide leaf economics spectrum. **Nature** 428, p. 821–827. 2004.
- ZALUAR, H. L. T. & SCARANO, F. R. Facilitação em restingas de moitas: Um século de buscas por espécies focais. In: ESTEVES, F.A.; LACERDA, L. D. (Ed.). **Ecologia de restingas e lagoas costeiras**. Rio de Janeiro: NUPEM/UFRJ, p.3-23. 2000.
- ZAMITH, L. R. & SCARANO, F. R. Restoration of a restinga sandy coastal plain in Brazil: survival and growth of planted woody species. **Restoration Ecology**, v.14, n.1, p.87-94, 2006.

**CAPITULO 2 – Dinâmica do crescimento de *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze (ARECACEAE) em uma cronosequência de plantios em área de restauração de restinga**

## RESUMO

O conhecimento sobre a dinâmica de crescimento das espécies vegetais é fundamental na restauração de ambientes degradados. Neste trabalho avaliamos a dinâmica de crescimento de *Allagoptera arenaria* em uma cronosequência de plantios na restinga. A amostragem foi retirada de três populações com diferentes idades de plantio (n=12): grupo GI – 8 meses; GII – 48 meses; GIII – 84 meses. Foram realizadas medições biométricas, dos atributos foliares e da fluorescência da *Clorofila a*, além da quantificação de pigmentos fotossintetizantes. Em relação à altura, as plantas cresceram 19 cm, ou seja, um acréscimo médio de 2,7 cm por ano. O diâmetro do coleto aumentou 20,18 mm, o que representou um aumento médio de 2,88 mm/ano. O número médio de folhas aumentou de 2,3 folhas no grupo GI para 5,6 folhas no grupo GIII. O quociente de robustez apresentou redução significativa com a idade de plantio. Nas mudas (GI), cultivadas em viveiro verificou-se a maior suculência (SUC), espessura (ESP) e maiores valores para os pigmentos fotossintetizantes. Já nos grupos GII e GIII foi observado maior custo de construção de biomassa baseada em carbono (MFA) e conteúdo relativo de água (CRA). Os três grupos exibiram a típica curva OJIP da fluorescência da *Clorofila a*, indicando que todas as amostras estavam fotossinteticamente ativas. A eficiência quântica máxima do FSII ( $F_v/F_m$ ) foi significativamente maior no grupo GI em relação aos grupos GII e GIII. Os valores para os fluxos específicos de energia mostraram que para o número total de fótons absorvidos (ABS/RC) e o fluxo de captura energia ( $TR_0/RC$ ) não apresentou diferença significativa entre os grupos. O fluxo de transporte e de dissipação de energia foi significativamente maior em GIII. A Análise de Componentes Principais (PCA) explicou 45,2% da variação total dos dados na PC-1 e 19,6% na PC-2. No GI os componentes principais foram associados a eficiência fotoquímica e o coeficiente de robustez. Os grupos GII e GIII foram associados ao fluxo específico de elétrons (ABS/RC;  $TR_0/RC$ ;  $ET_0/RC$ ;  $DI_0/RC$ ) e ao ganho de biomassa. A espécie *A. arenaria*, sob condições de campo, apresentou baixo incremento biométrico refletido em baixo crescimento vegetativo.

Palavras-chave: Ecofisiologia, fatores abióticos, plantio direto.

## ABSTRACT

Knowledge about the growth dynamics of plant species is essential in restoring degraded environments. In this work, we evaluated the growth dynamics of *Allagoptera arenaria*, in a chronosequence of plantations in the restinga. The sampling was taken from three populations with different planting ages ( $n = 12$ ): group GI - 8 months; GII - 48 months; GIII - 84 months. Biometric measurements, leaf attributes and chlorophyll a fluorescence were performed, in addition to the quantification of photosynthetic pigments. Our results indicate a low increase in biometric and biomass parameters for a period of seven years. In the seedlings (GI), grown in a nursery, there was a greater succulence (SUC), thickness (ESP) and higher values for photosynthetic pigments, whereas in groups GII and GIII a higher cost of building carbon-based biomass was observed (MFA) and relative water content (CRA). The three groups exhibited the typical OJIP curve of chlorophyll a fluorescence, indicating that all samples were photosynthetically active. The maximum quantum efficiency of FSII ( $F_v/F_m$ ) was significantly higher in the GI group compared to the GII and GIII groups. The values for specific energy flows showed that for the total number of photons absorbed ( $ABS/RC$ ) and the energy capture flow ( $TR_0/RC$ ) there was no significant difference between the groups. The transport and energy dissipation flow was significantly higher in GIII. Principal Component Analysis (PCA) explained 45.2% of the total data variation in PC-1 and 19.6% in PC-2. In the IG, the main components were associated with photochemical efficiency and the robustness coefficient. Groups GII and GIII were associated with specific electron flow ( $ABS / RC$ ;  $TR_0 / RC$ ;  $ET_0 / RC$ ;  $DI_0 / RC$ ) and biomass gain. The species *A. arenaria*, under field conditions, presented a low biometric increase reflected in a low vegetative growth.

Keywords: Ecophysiology, abiotic factors, no-till.

## 1. INTRODUÇÃO

Os princípios e as práticas da análise quantitativa do crescimento vegetal têm como objetivo descrever e interpretar o desempenho de determinada espécie em condições de ambiente natural ou controlado ao longo de um período de tempo (HUNT, 1990).

O crescimento pode ser mensurado pela altura, diâmetro, ou contagem de partes ou órgãos da planta (crescimento linear), ou ainda, através da fitomassa da comunidade, em amostragens significativas de plantas na casa de vegetação ou em condições de campo (BLACKMAN, 1919; BRIGGS, et al., 1920; WATSON, 1952). Atributos foliares também são utilizados para mensurar o crescimento vegetal devido ao reconhecimento do significado funcional das características foliares tais como a massa da folha por unidade de área (MFA) (REICH et al., 1992), suculência (SUC) (KLUGE & TING, 1978) e espessura da lâmina foliar (ESP) (WITKOWSKI & LAMONT, 1991). As avaliações ecofisiológicas como quantificação de pigmentos fotossintetizantes e a mensuração da fluorescência da Clorofila *a* nos permitem inferir sobre o potencial fotossintético das plantas e, conseqüentemente, sobre o crescimento delas, além de revelar aspectos da sua adaptabilidade a diversos ambientes (PORRA et al., 1989; CHAPPELLE & KIM, 1992). A fluorescência da Clorofila *a* também pode ser usada para estimar a eficiência do transporte de elétrons através do fotossistema II e que a eficiência de operação deste fotossistema está correlacionada à assimilação de CO<sub>2</sub>, o que tem levado à utilização deste aspecto na análise do desempenho fotossintético de plantas sob condições de laboratório e em campo (BAKER & ROSENQVIST, 2004).

Em relação ao crescimento de plantas na formação aberta não inundável não há trabalhos pretéritos, sendo que em sua maioria os trabalhos sobre restauração de restinga estão associados a formações florestais como o realizado por OLIVEIRA et al., 2015 na Área de Preservação Ambiental de Ilha Comprida, SP. Nas restingas do estado do Rio de Janeiro, alguns estudos foram elaborados enfocando comunidades lenhosas, tais como o de ARAUJO & PEIXOTO (1977), HENRIQUES et al., (1986), ARAUJO & OLIVEIRA (1988), SILVA (1991), RIBAS

(1992), RIBAS et al., (1993), SÁ (1996), MONTEZUMA (1997), ZALUAR (1997) e ASSUMPÇÃO & NASCIMENTO (1998, 2000).

A palmeira *Allagoptera arenaria* é nativa das restingas do Brasil, ocorrendo desde Pernambuco até o Paraná (HENDERSON et al., 1995; MORAES, 1996). Essa palmeira pode atingir 1,5 m de altura e 2,0 m de diâmetro de copa (MENEZES & ARAÚJO, 2004), podendo apresentar-se associada em moitas formando populações densas caracterizando a formação arbustiva aberta não inundável uma fitofisionomia das restingas (MENEZES & ARAÚJO, 2005). Além disso, *A. arenaria* possui elevado sucesso regenerativo, principalmente após queimadas, por ser um geófito (MENEZES & ARAÚJO, 2004) e capacidade de acumular matéria orgânica no solo proveniente de suas folhas senescentes o que proporciona modificações microclimáticas sob sua copa, facilitando ecologicamente o estabelecimento de outras espécies na restinga (CARVALHO et al., 2012; MENEZES et al., 2016). De fato, as restingas são ecossistemas que apresentam características limitantes para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas, como altas temperaturas, ventos fortes, salinidade e pouca disponibilidade de água e nutrientes no solo (MENEZES & ARAÚJO 2010). Desta forma, os processos de facilitação ecológica têm sido apontados como importantes nas estratégias de ocupação dos nichos nas restingas e *A. arenaria* é citada como elemento chave nos processos de sucessão secundária (MENEZES et al., 2016).

Em ecossistemas de Restinga no Brasil, informações sobre processos sucessionais após distúrbios antrópicos ainda são restritas (MENEZES & ARAÚJO, 2004). Entre os trabalhos com escopo semelhante destacam-se CARVALHO & OLIVEIRA-FILHO, (1993) em Mataracá, PB, HAENTSHEL, (2008) na Praia do Ouvidor, SC, ZANELLA et al., (2010) no Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, em Florianópolis, SC, ARAÚJO et al., (2014) nas dunas do Parque da Cidade Dom Nivaldo Monte, em Natal, RN, ZAMITH & SCARANO, (2006) Parque Natural Municipal de Marapendi, na área urbana do município do Rio de Janeiro (RJ). BECHARA, (2003, 2006) Parque Florestal do Rio Vermelho, Florianópolis, SC, CORREIA & CREPALDI, (2011), no Parque Estadual de Itaúnas, ES; GERZSON et al., (2012); ALVES et al., (2012) e TOMAZI et al., (2012), no Parque Municipal da Lagoa do Peri, SC e, SILVA, (2012), restinga de

Grussaí – Iquipari, São João da Barra, RJ. Por outro lado, é consenso de que as plantas nas restingas têm desenvolvimento lento, dificultando avaliações dos resultados de processos de restauração, quando comparados com outros ecossistemas, como na encosta atlântica onde RODRIGUES et al., (2009; 2011), estabelecem métodos, técnicas e avaliações ecológicas do processo de restauração no Sudeste brasileiro.

Em projeto de restauração é necessário considerar as possíveis limitações (edáficas, climáticas e nutricionais) da área e as características ecofisiológicas da espécie alvo. Nesse sentido, o conhecimento dos mecanismos fisiológicos que determinam a tolerância das plantas a ambientes estressantes e o desempenho das espécies em condições adversas podem fornecer subsídios ao processo de tomada de decisão e contribuir com o avanço da ciência da restauração ecológica (EHLERINGER & SANDQUIST, 2006; COOKE & SUSKIE, 2008).

Partindo do pressuposto que *A. arenaria* desempenha um papel importante no processo de sucessão secundária nas restingas, e de que esses ambientes são naturalmente estressantes para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas, foram realizadas mensurações biométricas, do acúmulo de biomassa, dos atributos foliares, dos pigmentos fotossintetizantes e da fluorescência da Clorofila a com o objetivo de avaliar e compreender a dinâmica de crescimento desta espécie nas restingas brasileiras.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

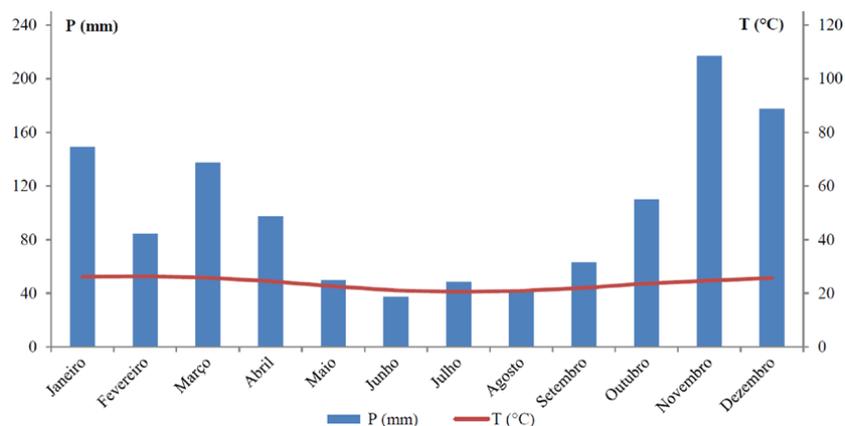
### 2.1 Área de estudo

Após a instalação do Gasoduto Terrestre Golfinho em uma área de 0,4ha de vegetação pertencentes as formações psamófila reptante e arbustiva aberta não inundável (*sensu* MENEZES & ARAÚJO, 2005) foi suprimida. O IEMA (Instituto Estadual de Meio Ambiente) emitiu a condicionante Nº 17, vinculada a Licença de Instalação Nº 222/2004, solicitando a recuperação da área degradada. Para cumprir essa condicionante e restaurar a paisagem, foram realizados dois plantios de *A. arenaria* na área, um em 2011 e outro de reposição em 2014 (Figura 1).



Figura 1 – Localização dá área de estudo, praia de Cacimbas no município de Linhares, ES (latitude -19.479442° e longitude -39.736216°).

O clima da região é tropical quente e úmido (Aw) caracterizado por uma estação chuvosa e uma seca sendo que a chuvosa coincide com os meses mais quentes do ano (outubro a abril) e a seca com os meses mais frios (maio a setembro). A precipitação total é superior a 1.200 mm anuais com uma maior ocorrência de outubro a março, sendo os meses mais chuvosos novembro e dezembro (Figura 2).



3.

Figura 2: Médias da temperatura e da pluviosidade na região de Linhares. Série histórica 1975-2013). P, precipitação média; T, temperatura média (SAITER, F. Z. et. al., 2017).

### 3.1 Amostragem e Delineamento Experimental

A amostragem foi retirada de três populações com diferentes idades de plantio, constituída por 12 indivíduos de cada população (n=12), assim designadas: Grupo I (GI) - muda comercial com 8 meses, mantidas sob condições de viveiro em vasos plásticos (3,6L) com substrato formado por uma mistura de terra de subsolo, areia e argila na proporção de 2:2:1. O grupo 2 (GII) indivíduos com 4 anos de plantio em ambiente natural; O grupo 3 (GIII) indivíduos com 7 anos de plantio em ambiente natural. As medições foram realizadas em setembro de 2018.

### 3.2 Biometria

Na avaliação biométrica foram mensuradas a altura (H) cm, o diâmetro do coleto (DC) mm e número de folhas (NF). A altura da planta foi medida com o uso de uma fita métrica, desde o colmo até a maior folha expandida. O diâmetro do coleto foi medido com paquímetro digital ( $\pm 0,01$  mm) na região do colmo da planta e a contagem do número de folhas foi realizado por observação direta dos indivíduos. Para a avaliação da biomassa, os indivíduos foram dissecados em raiz, caule e folha, acondicionados em sacos de papel, levados à estufa com circulação de ar forçada (70°C/72h). Após esse período, o material foi pesado em balança de precisão digital (0,01g) para a determinação da massa seca da raiz (MSR), caule (MSC) e folha (MSF). Foram calculadas a massa seca total (MST=MSR+MSC+MSF), massa seca da parte subterrânea (MSPsub=MSR+MSC), massa seca da parte aérea (MSPae=MSF), razão entre a

massa seca da parte subterrânea e aérea (MSPsub/MSPae) e o coeficiente de robustez (H/DC).

### 3.3 Atributos foliares

No cálculo dos atributos foliares foram utilizadas duas amostras com três discos foliares de 0,84 cm<sup>2</sup> de área totalizando 24 repetições por tratamento, os discos foliares foram obtidos com o uso de um cortador de metal. Em uma balança de precisão (0,01g) os discos foram pesados para determinar o peso fresco (g). Na verificação do peso túrgido (g), os discos foliares foram hidratados em água destilada por 24 horas e novamente pesados. A espessura (mm) foi medida com um paquímetro digital ( $\pm 0,01$ mm) nos discos turgidos. Após a hidratação os discos foliares foram acondicionados em envelopes de papel e levados à estufa de secagem à temperatura de 70°C, por 24h, e novamente pesados para a determinação do peso seco (g). Foram calculados os seguintes atributos foliares: Suculência (SUC) g/m<sup>-2</sup> - diferença entre a massa saturada e a massa seca dividida pela área (KLUGE & TING, 1978); Massa foliar por área foliar (MFA) g/m<sup>-2</sup> - estimada pela razão entre a massa seca e área foliar dos discos; Índice de Esclerofilia (IE) - calculado como massa seca (g)/2\*área foliar (dm<sup>2</sup>); Conteúdo relativo de água (CRA) % - (Massa fresca – Massa seca)/(Massa saturada- Massa seca) x 100 (BARRS & WEATHERLEY, 1962).

### 3.4 Pigmentos fotossintetizantes

Para a quantificação dos pigmentos fotossintéticos foram utilizadas 300 mg de material vegetal, obtidos de folha totalmente expandida. O material vegetal foi acondicionado em tubos de ensaio contendo 5 ml de acetona 80% e mantido no escuro sob temperatura de 4°C por 48 h para posterior análise espectrofotométrica. As leituras foram feitas a  $\lambda = 480$ ,  $\lambda = 645$ ,  $\lambda = 665$  nm para carotenóides, clorofila b e *Clorofila a* respectivamente. Os teores dos pigmentos fotossintéticos, expressos em mg.g<sup>-1</sup>/MF, foram calculados de acordo com as equações de ARNON, (1949) e LICHTENTHALER, (1987), conforme segue:

$$\text{Chl.a} = [(12,7.A_{663}) - (2,69.A_{645}) / (1000.FW)].V];$$

$$\text{Clorb} = [(22,9.A_{645}) - (4,68.A_{663}) / 1000.FW].V];$$

Clor.total=[(20,2.A663).(2,69. A645)/(1000.FW).V];

Carotenóides = [(1000.A470-1,82.Clor.a 85,02. Clor.b)/(198.V)].

### 3.5 *Fluorescência da Clorofila a*

A fluorescência transiente da Clorofila a foi medida utilizando um fluorômetro portátil (Handy-PEA, Hansatech, UK). As folhas foram previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos utilizando-se clipes foliares (Hanstech) para a oxidação completa do sistema fotossintético. A intensidade da luz que atingiu a folha foi de 3000  $\mu\text{mol}$  (fótons)  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , suficiente para gerar a fluorescência máxima para todas as amostras.

### 3.6 *Análise Estatística*

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativos ( $p < 0,05$ ) as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Outra análise realizada foi a Análise de Componentes Principais (PCA) para verificar quais são os principais parâmetros e a quais grupos estão associados. Todas as análises foram realizadas utilizando o software R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Biometria

A palmeira *A. arenaria*, estatisticamente apresentou aumento significativo para as variáveis biométricas, no período de 7 anos. Em relação à altura, as plantas cresceram 19 cm, ou seja, um acréscimo médio de 2,7 cm por ano. O diâmetro do coleto aumentou 20,18 mm, o que representou um aumento médio de 2,88 mm/ano. O número médio de folhas aumentou de 2,3 folhas no grupo GI para 5,6 folhas no grupo GIII. O quociente de robustez apresentou redução significativa com a idade (Tabela 1).

Tabela 1 – Altura (H), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF) e o quociente de robustez (QR), em populações de *Allagoptera arenaria* com diferentes idades.

Grupo	H cm	DC mm	NF und.	QR
GI	15.8±3.2 c	4.7±1.0 c	2.3±1.9 c	3.8±1.6 a
GII	23.1±3.7 b	13.1±0.8 b	3.7±3.8 b	1.9±0.6 b
GIII	34.8±8.4 a	24.9±1.1 a	5.7±4.5 a	1.4±0.3 b

Os dados (média ± desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa a  $p \leq 0,05$  entre GI, GII e GIII, teste de Tukey.

A biomassa da raiz, do caule e da folha aumentou significativamente com a idade do plantio (Tabela 2). Ao longo do tempo a palmeira *A. arenaria* apresentou um maior acúmulo de biomassa na parte subterrânea (raízes e caule) em relação a parte aérea (folhas). A razão entre a parte subterrânea e a parte aérea foi significativamente maior no grupo GII (Tabela 2).

Tabela 2 – Massa seca da raiz (MSR), do caule (MSC), da folha (MSF) e massa seca total (MS T), massa seca da parte subterrânea (MS Psub (g)), massa seca da parte aérea (MS Pae g), razão entre a massa seca da parte subterrânea e aérea (MSPsub/MSPae).

Grupo	MSR g	MSC g	MSF g	MS T g	MS Psub g	MS Pae g	Razão: MSPsub/MSPae
GI	0.3±0.1 c	0.06±0,0 b	0.2±0.1 b	0.5±0.3 c	0.3±0.2 b	0.2±0.1 b	1.5±0.4 b
GII	6.7±3.9 b	3.8±2.0 b	3.5±2.0 b	13.8±6.4 b	10.3±4.9 b	3.5±2.0 b	3.4±1.4 a
GIII	19.2±8.1 a	12.8±9.4 a	18.3±13.0 a	48.7±21.8 a	34.5±17.6 a	18.3±13.0 a	2.2±1.1 b

Os dados (média ± desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa a  $p \leq 0,05$  entre GI, GII e GIII, teste de Tukey.

### 4.2 Atributos foliares

O grupo GI apresentou uma média significativamente maior para a espessura foliar (ESP). A suculência (SUC) não apresentou variação entre os grupos (Tabela 3). A massa foliar por unidade de área (MFA), o índice de esclerofilia (IE) e o

conteúdo relativo de água (CR) foram significativamente maiores em GIII comparativamente aos demais grupos analisados (Tabela 3).

Tabela 3 - Espessura (ESP), suculência (SUC), massa foliar por área foliar (MFA), índice de esclerofilia (IE); conteúdo relativo de água (CRA).

Grupo	ESP mm	SUC g/m <sup>2</sup>	MFA g/m <sup>2</sup>	IE g/mm <sup>2</sup>	CRA %
GI	0.4±0.04 a	191.0±21.0 a	80.0±10.8 b	0.3±0.03 b	82.9±8.5 b
GII	0.3±0.05 b	182.5±21.3 a	92.1±16.1 b	0.3±0.05 b	87.1±7.1 ab
GIII	0.3±0,02 b	179.7±22.8 a	128.5±24.5 a	0.5±0.08 a	90.9±11.8 a

Os dados (média ± desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa a  $p \leq 0,05$  entre GI, GII e GIII, teste de Tukey.

#### 4.3 Pigmentos Fotossintetizantes

Na quantificação dos pigmentos fotossintéticos o grupo GI apresentou os maiores valores médios para os carotenóides, clorofila b e Clorofila a, sendo estatisticamente significativo em relação aos demais grupos (Tabela 4). Os grupos GII e GIII não apresentaram diferenças significativa entre si para os pigmentos fotossintéticos.

Tabela 4: Pigmentos fotossintetizantes: Carotenóides; Clorofila b (Clor. b); Clorofila a (Clor. a).

Grupo	Carotenóides	Clor. b	Clor. a
GI	1.5±0.2 a	0.8±0.12 a	2.1±0.28 a
G II	0.7±0.1 b	0.3±0.07 b	1.0±0.19 b
G III	0.7±0.2 b	0.3±0.08 b	1.0±0.21 b

Os dados (média ± desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa a  $p \leq 0,05$  entre GI, GII e GIII, teste de Tukey.

#### 4.4 Fluorescência da Clorofila a

A fluorescência transiente medida nas folhas dos indivíduos de *A. arenaria* de cada grupo está representada na figura 3. As curvas de fluorescência da Clorofila a mostraram um OJIP polifásico típico em todos os grupos, com os pontos J e I bem definidos (Figura 3). No entanto, reduções nos pontos J, I e P foram observadas nos grupos GII e GIII. A fluorescência inicial ( $F_0$ ) não diferiu significativamente entre os grupos. Contudo, os valores da fluorescência máxima ( $F_M$ ) e a eficiência quântica máxima do FSII ( $F_V/F_M$ ) foram significativamente maiores no grupo GI em relação aos grupos GII e GIII (Tabela 5).

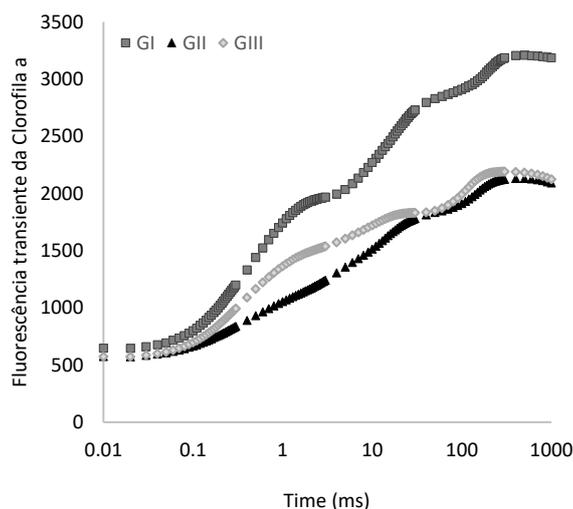


Figura 3: Intensidade transitória de fluorescência da Clorofila a em folhas de *Allagoptera areanaria* adaptadas ao escuro.

Tabela 5: Fluorescência basal mínima ( $F_0$ ); Fluorescência máxima ( $F_M$ ); Máxima eficiência fotoquímica do FSII ( $F_V/F_M$ ).

Grupo	$F_0$	$F_M$	$F_V/F_M$
GI	583.8±46.2 a	3206.0±243.9 a	0,82±0.02 a
G II	550.8±126.8 a	2133.9±373.2 b	0,74±0.03 b
G III	531.41±69.3 a	2194.0±228.4 b	0,76±0.01 b

Os dados (média ± desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa a  $p \leq 0,05$  entre GI, GII e GIII, teste de Tukey.

Os valores dos fluxos específicos de energia mostraram que para o número total de fótons absorvidos ( $ABS/RC$ ) e para o fluxo de energia capturado por centro de reação em  $t=0$  ( $TR_0/RC$ ) não houve diferenças significativas entre os grupos. Entretanto, o fluxo de transporte ( $ET_0/RC$ ) e de dissipação de elétrons por centro de reação em  $t=0$  ( $DI_0/RC$ ) foi significativamente maior no GIII em relação aos demais grupos (tabela 6).

Tabela 6: Fluxo de energia de absorção de elétrons ( $ABS/RC$ ), de capturada ( $TR_0/RC$ ), de transporte ( $ET_0/RC$ ) e de dissipação de energia ( $DI_0/RC$ ).

Amostragem	$ABS/RC$	$TR_0/RC$	$ET_0/RC$	$DI_0/RC$
GI	2.1±0.2a	1.6±0.12 <sup>a</sup>	0.8±0,11b	0.4±0.12b
G II	2.2±0.2a	1.6±0.15 <sup>a</sup>	0.7±0,15b	0.6±0.12a
G III	2.4±0.3a	1.7±0.19 <sup>a</sup>	1.0±0,15a	0.7±0.11a

Os dados (média ± desvio padrão) com letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa a  $p \leq 0,05$  entre GI, GII e GIII, teste de Tukey (n = 12).

#### 4.5 Análise de Componentes Principais - PCA

O primeiro eixo da Análise de Componentes Principais (PC-1) explicou 45,2% da variação total dos dados e o segundo eixo (PC-2) explicou 19,6%, os dois acumularam 64,8% de toda a variação (Figura 4). Para o grupo GI, os componentes principais foram associados à eficiência fotoquímica e o coeficiente de robustez. GII aparece como um grupo intermediário e associado aos fluxos específicos e elétrons e a razão  $MS_{sub}/MS_{ae}$ . O grupo GIII apresentou associação com o acúmulo de biomassa tanto na parte aérea quanto na parte subterrânea (Figura 4).

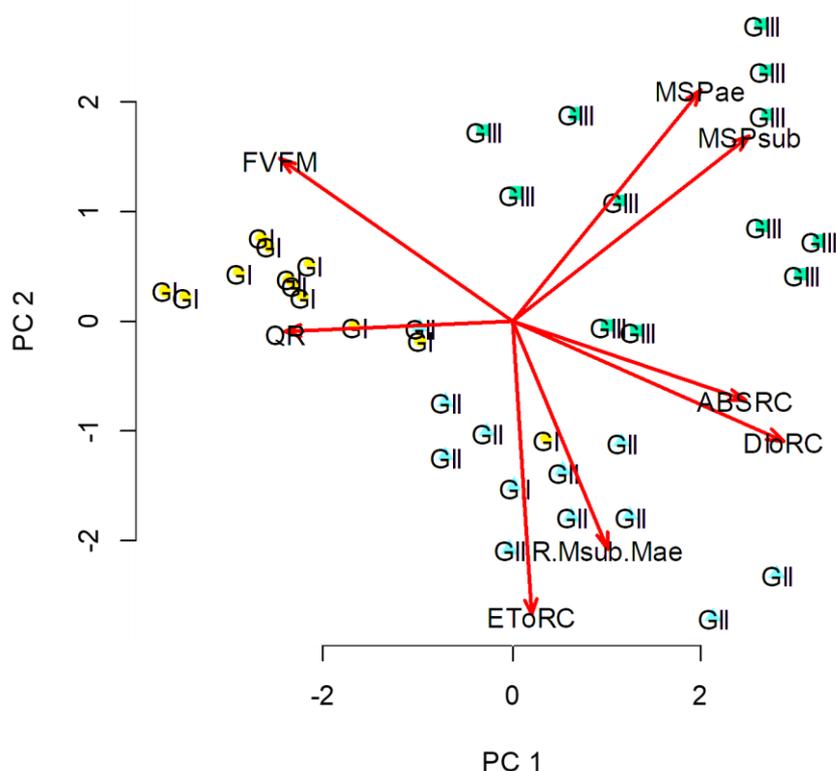


Figura 4: Análise de Componentes Principais (PCA) para o quociente de robustez (QR), massa seca da parte subterrânea ( $MS_{sub}$ ) e da parte aérea ( $MS_{ae}$ ), a razão entre a massa subterrânea e a massa aérea ( $R.M_{sub}/M_{ae}$ ), a massa foliar por área foliar (MFA), a máxima eficiência fotoquímica do FSII ( $F_v/F_m$ ), o fluxo de energia de absorção de elétrons por centro de reação ( $ABS/RC$ ), de capturada de elétrons ( $TR_o/RC$ ), de transporte de elétrons ( $ET_oRC$ ) e de dissipação de energia ( $DI_o/RC$ ).

## DISCUSSÃO

De modo geral a família Arecaceae está relacionada a um crescimento lento característico das espécies de palmeiras (BATISTA, 2009). Contudo as características ambientais do local de plantio, como solos distróficos e a alta luminosidade (ZAMITH & SCARANO, 2006) exercem papel preponderante sobre as respostas de crescimento em palmeiras. De fato, estudos conduzidos com outras espécies de palmeiras mostram que o crescimento é prejudicado em solos pobres e muito iluminados, como nas restingas (CHARLO, 2006; IOSSI et al., 2003; CARVALHO et al., 2006). Maior crescimento sob menores níveis de radiação também foram observadas no palmitero (*Euterpe edulis* Mart.), pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) e no coqueiro (*Cocos nucifera* L.) (PINHEIRO et al., 1988; GARCIA & FONSECA, 1991; NODARI et al., 1999; TSUKAMOTO FILHO et al., 2001; FARIA et al., 2002). Especificamente, a espécie *E. edulis*, crescendo em luz solar plena apresentou uma redução significativa no acúmulo de massa seca, mostrando que essa condição não é mais ideal para o seu cultivo (NAKAZONO et al., 2001). O comportamento apresentado por *E. edulis* é encontrado em outras espécies de palmeiras onde a exposição prolongada a altas irradiâncias pode ser prejudicial às plântulas que absorvem mais fótons de luz do que podem utilizar, levando à fotoinibição da fotossíntese ou mesmo à morte devido ao dano causado ao aparelho fotossintético pela quantidade excedente de fótons de luz (SONOIKE 1996, KITAO et al., 2000).

A redução nos valores para o quociente de robustez (QR) com o maior tempo de plantio é um aspecto positivo e indica o desenvolvimento das mudas (FONSECA & CRUZ et al., 2011), já o acréscimo no número de folhas não é a característica mais indicada para representar diferenças no crescimento de plantas, pois devemos considerar a constante abscisão e emissão dessa estrutura (NODARI et al., 1999).

Outras características foliares como a espessura e a suculência, representam a capacidade de armazenarem a água nos tecidos foliares (KLUGE & TING 1978; WITKOWSKI & LAMONT, 1991; SCHWINNING & EHLERINGER, 2001; NIINEMETS & KULL, 2003), esses parâmetros são mais elevados em plantas cultivadas sob alta radiação solar (VOLTOLINI, 2007; LOBO, 2007). Em *A. arearia*, a espessura e a suculência foram maiores no grupo G1, mais jovem e

cultivado em viveiro em relação aos grupos GII e GIII. Porém, quando verificamos o conteúdo relativo de água ocorre o contrário, indicando que a folha pode ser um órgão de reserva de água em condição de campo (ANGELOCCI, 2002). O índice de esclerofilia ficou abaixo de 0,6 g/mm<sup>2</sup> para todos os grupos, classificando esta espécie como mesófila em relação a suas exigências hídricas (BARRS & WEATHERLEY, 1962).

Neste estudo, a palmeira *A. arenaria* apresentou maior ganho de biomassa na porção subterrânea em relação a parte aérea corroborando com a literatura que diz que, as plantas, de forma geral, investem mais em raízes quando há menor disponibilidade de nutrientes no solo (LARCHER, 2006). O custo de construção da biomassa baseado em carbono, medido através da MFA, também aumentou com a idade do plantio refletindo as condições ambientais no local de plantio. Espécies que ocorrem em ambientes pobres em nutrientes e/ou sujeitos a uma menor disponibilidade hídrica tendem a apresentar folhas com maiores valores para MFA (MEDINA et al., 1990; WRIGHT & CANNON, 2001; NIINEMETS & KULL, 2003), longevidade foliar (CHABOT & HICKS, 1982; REICH et al., 1992) e eficiência no uso de nutrientes (TURNER, 1994; WRIGHT & CANNON, 2001).

O aumento polifásico típico dos sinais da fluorescência da clorofila *a* indicou que as amostras permaneceram fotossinteticamente ativas em todos os grupos. A redução observada nas etapas J, I e P nos grupos GII e GIII refletem os efeitos do estresse abiótico, afetando direta ou indiretamente a capacidade fotossintética das folhas e, conseqüentemente, alterando a cinética da fluorescência da Clorofila *a* (OUKARROUM et al., 2007). A maior F<sub>M</sub>, observada no grupo GI, indica um maior estoque de aceptores de elétrons do FSII em relação aos grupos GII e GIII (STRASSER, 1997). As plantas do grupo GII e GIII apresentaram uma redução na máxima eficiência fotoquímica do FSII (F<sub>v</sub>/F<sub>M</sub>) o que pode indicar a presença de danos no aparato fotossintético, evidenciada pela diminuição na fluorescência máxima (F<sub>M</sub>). Estes parâmetros são bons indicativos do efeito do estresse ambiental sobre o aparato fotossintético (MAXWELL & JOHNSON, 2000; PIRES, 2008).

Este fato está diretamente relacionado às condições ambientais do plantio, que também promovem alterações na biossíntese de clorofilas. Os resultados indicam a ocorrência de uma adaptação cromática de *A. arenaria* que possivelmente

auxilie no seu desempenho fotossintético. Redução no teor de clorofilas pode contribuir para a proteção do maquinário fotossintético contra os efeitos da alta radiação luminosa, uma vez que minimiza a capacidade de coleta de luz e, conseqüentemente, a excitação de FSII (KYPARISSIS et al., 2000, RIBAS, 2006). Valores de  $F_v/F_M$  compreendidos entre 0,75 e 0,85 demonstram ausência de danos nas reações fotoquímicas por meio de uma eficiente conversão da energia luminosa em nível de FSII (TAIZ & ZEIGER, 2004). Folhas de sol possuem valores típicos de  $F_v/F_M$  em torno, ou um pouco abaixo, de 0,8. Para folhas de sombra estes valores estão entre 0,83 e 0,85 com uma diferença em torno de 4% (CRITCHLEY, 1998). O autor ainda relata que valores abaixo de 0,725 as folhas certamente estarão submetidas a danos fotoinibitórios, o que não foi aqui observado entre os grupos analisados.

Uma diminuição de  $F_v/F_M$ , certamente, causa um aumento da dissipação de energia como calor, o que resultará na conversão de RCs ativos do PSII em centros de dissipação de calor (CHEN et al., 2016), fato este observado nos indivíduos dos grupos GII e GIII que também apresentaram os maiores valores para o fluxo de transporte e de dissipação de energia. O grupo GIII apresentou as maiores médias para a MFA e o  $D_{lo}/RC$ , um menor valor para  $F_v/F_M$ , além de uma menor concentração dos pigmentos fotossintetizantes limitando o crescimento das plantas com a idade de plantio.

A análise de componentes principais (PCA) nos permitiu identificar os parâmetros mais correlacionados ao fenômeno estudado. No caso de *A. arenaria* verificamos que os indivíduos mais jovens apresentaram os maiores valores para quociente de robustez (QR), indicando baixa qualidade das mudas e a máxima eficiência fotoquímica do FSII ( $F_v/F_M$ ) refletindo a condição de cultivo em viveiro. Os grupos GII e GIII foram mais correlacionados com o acúmulo de biomassa e os fluxos específicos de energia. De fato, com o tempo os indivíduos tendem a incorporar mais biomassa, mas devido às condições ambientais presentes na área de plantio foi observado baixo incremento de biomassa para o período analisado. As plantas aclimatan-se ao seu ambiente de luz por meio do ajuste de seu aparato fotossintético e a resposta a essa adaptação também é refletida no crescimento da planta. Assim a eficiência do crescimento relaciona-se com a capacidade de aclimação das plantas a intensidade da radiação luminosa

dentro do ambiente em que ela se desenvolve (PAIVA et al., 2003; ALMEIDA et al., 2005). NAKAZONO et al., (2001), estudando o crescimento inicial de *Euterpe edulis* a 2% e 6% de sombreamento e a pleno sol, observaram que as plantas dos ambientes mais sombreados apresentaram menor MST e menor MSsub/MSPae, quando comparadas com as plantas desenvolvidas em luz plena. Maior alocação de MSR também foi observada em *Solanum crinitum* (espécie pioneira) sob condições de pleno sol, na qual a distribuição de biomassa para as raízes, em baixo nível de radiação luminosa, foi reduzida de 15% em relação a plantas sob pleno sol (DIAS FILHO, 1997).

## 5. CONCLUSÕES

*A. arenaria*, após sete anos de plantio sob condições de campo, apresentou baixo crescimento vegetativo e discreto incremento de biomassa. Ocorreu maior acúmulo de biomassa em maior proporção no sistema subterrâneo (raiz e caule) em relação a parte aérea (folhas). Essa palmeira apresentou variações morfológicas e fisiológicas como resposta adaptativa às condições ambientais adversas. Também em condição de campo ocorreu redução das concentrações de pigmentos fotossintetizantes e redução na eficiência fotossintética. As condições ambientais naturais são limitantes para o crescimento de plantas que mesmo adaptadas a este ambiente sofrem as consequências do estresse ambiental típico do ambiente de restinga.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S.M.Z., SOARES, A.M., CASTRO, E.M., VIEIRA, C.V., GAJEGO, E.B. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 62-68, 2005.
- ALVES, R. P.; FUENTES, E. V.; HESSEL, M. et al., Avaliação da regeneração inicial da vegetação de restinga após remoção de plantio de *Pinus elliottii*, no Parque Municipal da Lagoa do Peri, Florianópolis – SC. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 75p., 2012.
- ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: L. R. Angelocci, 272p., 2002.
- ARNON, D.J. Copper enzyme in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology** 24:1-15,1949.
- BAKER, N.R. e ROSENQVIST, E. Aplicações da Fluorescência da Clorofila Podem Melhorar as Estratégias de Produção de Culturas: Um Exame das Possibilidades Futuras. **Journal of Experimental Botany**, 55, 1607-1621, 2004.
- BARRS, H.D. e WEATHERLEY, P.E.: A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**. 15:413–428, 1962.
- BATISTA, G. S. Morfologia e germinação de sementes de *Syagrus oleracea* (Mart.) Becc (Arecaceae). 37f. **Dissertação (mestrado em agronomia)** - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009.
- BECHARA, F.C. Restauração ecológica de restingas contaminadas por pinus no Parque Florestal do rio vermelho, Florianópolis, SC. 2003,136 f. **Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal)**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.
- BECHARA, F.C. Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica através de Técnicas Nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga. 249 f. **Tese (Doutorado em Recursos Florestais)**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

BLACKMAN, V.H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, 33:353-360, 1919.

BRIGGS, G.E.; F. KIDD e C. WEST. A quantitative analysis of plant growth. **Ann. Appl. Biol.**, 7:202- 223, 1920.

CARVALHO, D. R.; NASCIMENTO, P. G. M. L.; SILVA, M. G. O.; MESQUITA, H. C.; CUNHA, J. L. X. Comparação de métodos para estimativa da área foliar do *Myrciaria tenella* O. Berg. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 8, n. 4, p. 01-06, 2012.

CARVALHO, N. O. S.; PELACANI, C. R.; RODRIGUES, M. O. de S.; CREPALDI, I. C. Crescimento inicial de plantas de licuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.) em diferentes níveis de luminosidade. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p.351-357, 2006.

CARVALHO, D. A. e OLIVEIRA-FILHO, A. T. Avaliação da recomposição da cobertura vegetal de dunas de rejeito de mineração, em Mataraca/PB. **Acta Botânica Brasileira**, v. 7, n. 2, p. 107-117, 1993.

CHABOT, B.F.; HICKS, D.J. The ecology of leaf life spans. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.13, p.229-259, 1982.

CHAPPELLE, E.W. e KIM, M.S. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): the algorithm for a remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. **Remote Sens Environ.** 39:239-47, 1992.

CHARLO, H. C. O. et al., Aspectos morfológicos, germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de *Archontophoenix alexandrae* (F. Mueller) H. Wendl. e Drude (ARECACEAE) em diferentes substratos. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.6, p.933-940, 2006.

CHEN, S.; YANG, J.; ZHANG, M.; STRASSER, R.J.; QIANG, S. Classification and characteristics of heat tolerance in *Ageratina adenophora* populations using fast chlorophyll a fluorescence rise O-J-I-P. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 126-140, 2016.

COOKE, S.J.; SUSKI, C.D. Ecological restoration and physiology: an overdue integration. **BioScience**, Cary, v. 58, p. 957–968, 2008.

CRITCHLEY, C. Photoinhibition. In: RAGHAVENDRA, A.S. (Ed.). **Photosynthesis: A comprehensive treatise**. Cambridge: Cambridge University Press. p.264-272, 1998.

DIAS-FILHO, M.B. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 32:789-796, 1997.

EHLERINGER, J.R., SANDQUIST, D.R. Ecophysiological constraints on plant responses in a restoration setting, in: Falk, D. A., Palmer M., Zedler, J. B. (eds), **Foundations of Restoration Ecology**. Island Press, New York, pp 42–58. 2006.

FARIA, W. S.; GAÍVA, H. N.; PERIRA, W. E. Comportamento de cinco genótipos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) na fase de germinação e de crescimento de mudas, sob diferentes sistemas de produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 458-462, 2002.

FONSECA e CRUZ, C. A. et al., Macronutrientes na produção de mudas de canafístula em argissolo vermelho amarelo da região da Zona da Mata, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 445-457, 2011.

GARCIA, T. B.; FONSECA, C. E. L. Crescimento de mudas de pupunheira em condições de viveiro coberto com palha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 9, p. 1447-1451, 1991.

GERZSON, N.D.; FUENTES, E.V.; HESSEL, M.; HERNÁNDEZ, M.I.M. Efetividade de medidas complementares de restauração em vegetação de restinga. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 59p., 2012.

HENTSCHEL, R. L. Gradiente vegetacional, variáveis ambientais e restauração na restinga da Praia do Ouvidor, Garopaba, Santa Catarina. Dissertação (**Mestrado em Ciências: Botânica**) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 18 de abril de 2008.

HENDERSON, A. GALEANO, G. e BERNAL, R. **A Field Guide to the Palms of the Americas**. New Jersey, Princeton University, 1995.

HUNT, R. **Basic growth analysis**. London: Unwin Hyman, 112 p., 1990.

IOSSI, E.; SADER, R.; PIVETTA, K. F. L. & BARBOSA, J. C. Efeitos de substratos e temperaturas na germinação de sementes de tamareira-anã (*Phoenix roebelenii* O'Brien). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, p.63-69, 2003.

KITAO, M., LEI, T.T., KOIKE, T., TOBITA, H. & MARUYAMA, Y. Susceptibility to photoinhibition of three deciduous broadleaf tree species with different successional traits raised under various light regimes. **Plant, Cell and Environment** 23:81-89, 2000.

KLUGE, M. & TING, I.P. Crassulacean Acid Metabolism: Analysis of an Ecological Adaptation. Berlin, **Springer-Verlag**, 1978.

KYPARISSIS, A., DRILIAS P., MANETAS, Y. Seasonal fluctuations in photoprotective (xanthophyll cycle) and photoselective (chlorophylls) capacity in eight Mediterranean plant species belonging to two different growth forms. **Australian Journal of Plant Physiology** 27:265-272, 2000.

LARCHER, W.; **Ecofisiologia vegetal**. Editora Rima, São Carlos, 2006.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymol.** 148:350-382, 1987.

LOBO, G. M. Morfoanatomia da reófito *Dyckia brevifolia* Baker (Bromeliaceae). **Dissertação de Mestrado**. Curso de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, 2007.

MAXWELL, K. e JOHNSON, G.N. Fluorescência de clorofila: um guia prático. **Journal Experimental Botany**, 51: 659-668, 2000.

Mc CONNAUGHAY, K.D.M.; Coleman, J.S.; Biomass allocation in plants: ontogeny or optimality? A test along three resource gradients. **Ecology**, 80:2581–2593, 1999.

MEDINA, E.; GARCIA, V. & CUEVAS, E. Sclerophylly and oligotrophic environments: Relationships between leaf structure, mineral nutrient content, and drought resistance in tropical rain forests of upper Rio Negro region. **Biotropica** 22: 51-64, 1990.

MENEZES L. F. T.; ARAÚJO, D. S. D. Regeneração e riqueza da formação arbustiva de *Palmae* em uma cronoseqüência pós-fogo na Restinga da Marambaia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Acta bot. bras.** 18(4): 771-780, 2004.

MENEZES L. F. T.; ARAÚJO, D. S. D. Formações vegetais da Restinga da Marambaia. In Menezes LFT, Araújo DSD (Orgs.). **História Natural da Marambaia**. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

MENEZES L.F.T.; ARAÚJO D.S.D.; NETTESHEIM F.C. Estrutura comunitária e amplitude ecológica do componente lenhoso de uma floresta de restinga mal drenada no sudeste do Brasil. **Acta Botânica Brasílica**; 24(3):825-839, 2010.

MENEZES, L.F.T.; PUGNAIRE F.I; MATAALLANA G.; NETTESHEIM F.C.; CARVALHO D.C.; MATTOS E.A. Disentangling plant establishment in sandy coastal systems: biotic and abiotic factors that determine *Allagoptera arenaria*

(Arecaceae) germination. **Acta Botanica Brasilica** - 32(1): 12-19. January-March, 2016.

MORAES, M.R. *Allagoptera (Palmae)*. New York, The New York Botanical Garden, 1996.

MULLER, I.; SCHMID, B.; WEINER, J.; The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species of herbaceous plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, 3:115–127, 2000.

NAKAZONO, E.M. et al., Crescimento inicial de *Euterpe edulis* Mart. Em diferentes regimes de luz. **Revta. Brasil. Bot.**, São Paulo, V.24, n.2, p173-179, 2001.

NIINEMETS, Ü. & KULL, K. Leaf structure vs. nutrient relationship vary with soil conditions in temperate shrubs and trees. **Acta Oecologica** 24: 209-219. 2003.

NODARI, R. O. et al., Crescimento de mudas de palmitheiro (*Euterpe edulis* Mart.) em diferentes condições de sombreamento e densidade. **Revista Árvore**, v. 23, n. 3, p. 285-292, 1999.

OLIVEIRA, M.A.M et al. Dinâmica da regeneração natural em uma floresta baixa de restinga degradada. **Hoehnea** 42(4): 759-774, 2015.

OUKARROUM, A.; MADIDI, S.E.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R.J. Sondando as respostas de cultivares de cevada (*Hordeum vulgare* L.) pela *Clorofila* a fluorescência OLKJIP sob estresse hídrico e re-rega. **Environ. Exp. Robô.** 60: 438-446, 2007.

PAIVA, C.L.; GUIMARÃES, R.J.; SOUZA, C.A.S. Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 1, p. 134-140, 2003.

PINHEIRO, G. S.; MARIANO, G.; CRESTANA, C. S. M. Estudo do desenvolvimento do palmitheiro *Euterpe edulis* Mart. (Palmae), sob diversas condições de sombreamento, em plantio de *Pinus kesiya* Royle ex Gordon. São Paulo: **Instituto Florestal**, p. 171-180 (Boletim Técnico, 42), 1988.

PIRES, M.V. Respostas morfo-fisiológicas de espécies ornamentais de *Passiflora* ao sombreamento. **Dissertação**. Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, Bahia, Brasil, 2008.

PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A.; KRIDEMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying a and b extracted

with four different solvents: verification of the concentration of chlorophylls standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimic et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 975, p. 384-394, 1989.

REICH, P. B., WALTERS, M. B. e ELLSWORTH, D. S. Leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. **Ecological Monographs** 62(3), 365-392. 1992.

RIBAS, R.F. Plasticidade e aclimatação fotossintética de espécies arbóreas tropicais. **Ph.D. Thesis**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2006.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experiences in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, v.142, n.6, p.1242-1251, 2009.

RODRIGUES, R.R. et al., Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forest in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, Oxford, n. 26 p.1605-1613, 2011.

SAITER, F. Z., et. al. Uma revisão sobre a controversa classificação fisionômica da floresta de Linhares, Norte, Espírito Santo. **Rodriguesia** 68(5): p.1987-1999, 2017.

SCHWINNING, S. e EHLERINGER, J.R. Trocas pelo uso da água e adaptações ótimas a ecossistemas áridos acionados por pulso, **Journal of Ecology** 89: 464-480, 2001.

SILVA, G. D. F. Avaliação do estabelecimento de mudas nativas em áreas de restauração ecológica na RPPN Caruara – Restinga do complexo lagunar Grussáí-Iquipari, RJ. **Dissertação de mestrado**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2012.

Software R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2020.

SONOIKE, K. Photoinhibition of photosystem I: Its physiological significance in the chilling sensitivity of plants. **Plant Cell Physiology** 37:239-24, 1996.

STRASSER, B. Donor side capacity of photosystem II probed by chlorophyll a fluorescence transients. **Photosynthesis Research**, 52: 147-155, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Piracicaba, Artmed. 720p. 2004.

TOMAZI, A. L.; FUENTES, E. V.; HESSEL, M. et al., Diversidade de formas de vida vegetal como indicador do status de regeneração de uma restinga arbustivo-arbórea em processo restaurativo. In: FUENTES, E.V.; HESSEL, M.; HERNÁNDEZ, M.I.M. (Orgs.). Ecologia de campo na Ilha de Santa Catarina. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. **Programa de Pós-Graduação em Ecologia**, 358 p., 2012.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. et al., Aspectos fisiológicos e silviculturais do palmitheiro (*Euterpe edulis* Martius) plantados em diferentes tipos de consórcio no município de Lavras, Minas Gerais. **Cerne**, v. 7, n. 1, p. 41-53, 2001.

TURNER, I.M. Sclerophylly: primarily protective? **Functional Ecology** 8: 669-675, 1994.

TURNER, N.C. Further progress in crop water relations. **Advances in agronomy**, [S.I.] v. 58, p. 293-338, 1997

VOLTOLINI, C. H. Anatomia de folhas e raízes de *Aechmea lindenii* (E. Morren) Baker var. *lindenii* (Bromeliaceae). **Dissertação de Mestrado**. Curso de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, 2007.

WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, 4:101-145,1952.

WITKOWSKI, E.T.F.; LAMONT, B.B.; Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia** 88: 486-493, 1991.

WRIGHT, I.J. & CANNON, K. Relationships between leaf lifespan and structural defences in a low-nutrient, sclerophyll flora. **Functional Ecology** 15: 351-359, 2001.

ZAMITH, L. R.; SCARANO, F. R. Restoration of a restinga sandy costal plain in Brazil: survival and growth of planted woody species. **Restoration Ecology**, v.14, n.1, p.87-94, 2006.

ZANELLA, N. R. Z., PRUDENCIO, M. e CASTELLANI, T. T. Análise da cobertura vegetal em duna semifixa dez anos após a aplicação de técnicas de restauração no Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, Florianópolis, Santa Catarina. **Biotemas** 23, p. 49-58, 2010.

**CAPÍTULO 3 – Efeitos morfofisiológicos do fertilizante granulado NPK 4.14.8 no desenvolvimento de mudas de *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze (ARECACEAE) em casa de vegetação**

## RESUMO

A busca por mudas com melhor padrão de qualidade é uma demanda crescente no mercado e a necessidade de recomposição de ecossistemas degradados demanda o desenvolvimento de tecnologias para a produção de essências nativas. Este trabalho aplicou diferentes doses do fertilizante NPK 4.14.8 em mudas de *Allagoptera arenaria* com 8 meses de cultivo. Foram realizadas medidas biométricas, de biomassa, quantificação dos pigmentos fotossintetizantes e quantificação da fluorescência da clorofila *a*. Os resultados mostraram que o uso do fertilizante melhorou significativamente as médias dos parâmetros analisados promovendo um melhor desenvolvimento das mudas. O uso do fertilizante produziu mudas mais robustas a serem utilizadas nos plantios de recuperação de áreas degradadas na restinga. A melhor dose do fertilizante foi de 25g por planta. As outras doses apresentaram respostas semelhantes e significativamente inferiores a dose indicada como melhor.

Palavras-chave: NPK 4.14.8, crescimento, ecofisiologia

## **ABSTRACT**

The search for seedlings with a better standard is a growing demand in the market. The need to restore degraded ecosystems demands the development of technologies for the production of native essences. In this sense, this work applied different doses of fertilizer NPK 4.14.8 in seedlings of *Allagoptera arenaria* with 8 months of cultivation. Biometric, biomass, quantification of photosynthetic pigments and chlorophyll a fluorescence measurements were performed. The results showed that the use of the fertilizer significantly improved the averages of the analyzed parameters promoting a greater development of the seedlings. The use of fertilizer produced more robust seedlings to be used in plantations to recover degraded areas in the sandbank. The best dose of fertilizer was 25g per plant.

Keywords: Ecophysiology, seedling production, superphosphates.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a procura por mudas de espécies florestais nativas para a recuperação de áreas degradadas tem crescido no Brasil, em decorrência do aumento da preocupação com as questões ambientais, além das exigências legais estabelecidas pelo Governo. Atualmente existem poucos trabalhos publicados a respeito de recuperação de áreas degradadas de restinga para o Estado do Espírito Santo (CORREIA & CREPALDI, 2011), principalmente no que diz respeito à produção e tecnologia de sementes e mudas, razão pela qual estas investigações são importantes, seja com o objetivo de testar modelos para revegetação de áreas de restinga degradadas, seja pela busca do conhecimento sobre a produção de mudas de espécies nativas da restinga, visando sua utilização em projetos de recuperação dessas áreas (BARBOSA, 2002).

A restinga é caracterizada por ser uma planície baixa com suaves ondulações e declives em direção ao mar (SUGUIO & MARTIN, 1987). As características peculiares do ambiente físico das restingas, que apresentam solos arenosos com baixa capacidade de retenção de água e pobres em minerais (ARAÚJO & PEREIRA, 2009) aliada a escassez de estudos sobre a sua dinâmica ecológica, tornam a sua restauração um desafio (RODRIGUES et al., 2007). Outros fatores como a salinidade, ventos constantes e a instabilidade do substrato dificultam a fixação de novas plantas. Diante disso podemos supor que as fases de germinação e estabelecimento das plântulas podem ser limitantes para a regeneração natural desse tipo de vegetação. Dessa forma, a produção e utilização de mudas bem desenvolvidas, que já superaram as fases iniciais de desenvolvimento parece ser mais adequado neste ambiente.

A baixa disponibilidade de nutrientes tem sido um dos principais fatores a limitar o crescimento das plantas nas regiões tropicais. Entre os nutrientes, o fósforo (P) é um dos que tem merecido maior preocupação, em razão da sua baixa disponibilidade natural na grande maioria dos solos brasileiros (MENDES, 2012). Daí a importância de se desenvolver estudos visando estabelecer o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento das plantas. De forma geral, ocorre um menor crescimento das plantas cultivadas sob deficiência de P, e este fato pode ser devido ao efeito direto desse nutriente sobre a taxa fotossintética líquida, visto ser o fósforo fundamental para que esse processo ocorra (HENRY et al.,

2012). Indiretamente, a deficiência de P também reduz a fotossíntese por afetar negativamente o número e tamanho das folhas, reduzindo, dessa forma, a área foliar necessária a uma maior captação da radiação fotossinteticamente ativa (RIPLEY et al., 2004).

O P é encontrado na planta nas formas orgânica e inorgânica (MALAVOLTA, 1980). A maior parte deste nutriente é absorvida pelas raízes das plantas por meio da solução do solo e em menor quantidade é absorvido da superfície da argila (OSAKI, 1991). O P é muito importante para a planta transformar os hidratos de carbono em açúcares, estando desta forma, envolvido no processo de fotossíntese. O P é o grande responsável pelo processo de divisão das células, é um dos agentes direto da formação da clorofila e ainda aumenta o desenvolvimento radicular propiciando à planta maior capacidade de absorver os elementos férteis do solo. Age diretamente na qualidade dos frutos e faz a maturação das sementes (REIS et al., 1993).

A palmeira *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze, cuja ocorrência se estende de Pernambuco até o Paraná (ENDERSON et al., 1995; MORAES, 1996), em locais preservadas e também em áreas degradadas ao longo do litoral brasileiro em diversas formações da restinga. Possui altura variável entre 1 a 2,5 metros, caule tipo estipe (geófito), com cerca de 10 cm de diâmetro, normalmente indiviso e subterrâneo, podendo ramificar a partir de rizomas subterrâneos fazendo uso de reprodução assexuada (TOMLINSON, 1960; RIZZINI, 1979; LEITE, 1990; MENEZES, 1996; MENEZES & ARAÚJO 1999). Além disso, possui uma alta capacidade de sobreviver ao fogo, rebrotando a partir dos rizomas subterrâneos (ARAÚJO & PEIXOTO, 1977; MENEZES, 1996; ALMEIDA & ARAÚJO, 1997; ZALUAR & SCARANO, 2001; MENEZES & ARAÚJO, 2004) e formando populações densas em determinados trechos do cordão arenoso, caracterizando a Formação Arbustiva aberta não inundável (MENEZES, 1996; MENEZES & ARAÚJO, 1999, 2000). Essa espécie acumula matéria orgânica no solo proveniente das folhas senescentes, que pode caracterizar microclimas, propiciando o estabelecimento de outras espécies (MENEZES & ARAÚJO 1999).

A produção e utilização de mudas mais robustas e desenvolvidas dessa palmeira representa um passo importante no processo de recuperação de áreas degradadas nas restingas e partindo da premissa de que segundo BOVI e

CANTARELLA (1996) a demanda por nutrientes apresentada pelas palmeiras é elevada, tanto na fase de crescimento vegetativo como na fase reprodutiva testamos a hipótese de que o uso de fertilizante fosfatado na produção de mudas de *A. arenaria* produz um material mais robusto a ser utilizado em campo. Neste sentido este trabalho avaliou os efeitos morfofisiológicos de quatro diferentes doses (5g; 10g; 15g e 25g) do fertilizante granulado NPK 4.14.8 em mudas de *A. arenaria*.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no campus da Universidade Federal do Espírito Santos – UFES/CEUNES no município de São Mateus, ES. Teve início em 15 de março de 2019 se estendendo por um ano.

### 2.2 Amostragem e Delineamento Experimental

Foram utilizadas plântulas de *A. arenaria* com oito meses de germinação, mantidas em sacolas de polietileno (15x7cm) com substrato composto de terra de subsolo, argila e areia na proporção 2:2:1, produzidas e fornecidas pelo Centro Cultural e Ambiental José Bahia, localizado na Avenida Vereador Luiz Barbosa s/nº no Bairro Boa Vista em São Mateus ES.

As plântulas tiveram seu substrato delicadamente removido e em seguida foram transplantadas para vasos de polietileno (3,6 L) contendo como substrato areia de restinga esterilizada a 200°C por 2h em estufa de circulação de ar. As plântulas envasadas foram mantidas em casa de vegetação, em local arejado, com 70% de luminosidade sendo regadas mecanicamente por 10min duas vezes ao dia. Após esse procedimento as mudas foram agrupadas por altura e número de folhas para a montagem do experimento.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC). Foram montados quatro blocos, cada um com seis repetições (parcelas) e cinco tratamentos (Controle: 0g; Tratamento 1: 5g; Tratamento 2: 10g ; Tratamento 3: 15g e Tratamento 4: 25g por planta de NPK 4.14.8, granulado) (Figura 1). O fertilizante foi aplicado em dose única, no início do experimento e como adubação de cobertura foram utilizados 5g de NPK 20.0.20 por vaso a cada 90 dias. Para cada tratamento o número amostral foi de 24, totalizando 120 mudas (Figura 1).

Para a avaliação morfofisiológica foram utilizados 12 indivíduos (n=12), os demais indivíduos deverão ser testados em campo em um outro projeto.

B1	B1	B1	B1	B1		B2	B2	B2	B2	B2
C	5g	10g	15g	25g		25g	15g	C	10g	5g
C	5g	10g	15g	25g		25g	15g	C	10g	5g
C	5g	10g	15g	25g		25g	15g	C	10g	5g
C	5g	10g	15g	25g		25g	15g	C	10g	5g
C	5g	10g	15g	25g		25g	15g	C	10g	5g
C	5g	10g	15g	25g		25g	15g	C	10g	5g
B3	B3	B3	B3	B3		B4	B4	B4	B4	B4
15g	25g	5g	C	10g		10g	C	25g	15g	5g
15g	25g	5g	C	10g		10g	C	25g	15g	5g
15g	25g	5g	C	10g		10g	C	25g	15g	5g
15g	25g	5g	C	10g		10g	C	25g	15g	5g
15g	25g	5g	C	10g	A	10g	C	25g	15g	5g
15g	25g	5g	C	10g		10g	C	25g	15g	5g

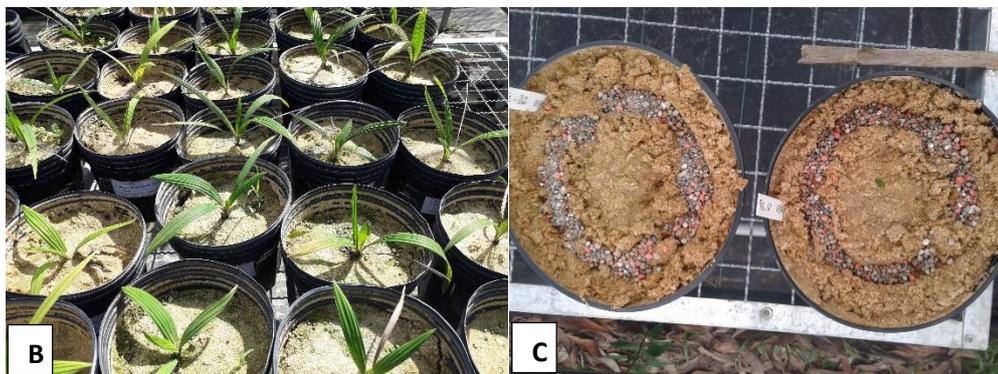


Figura 1: A - Esquema representativo do delineamento experimental em blocos casualizados DBC; B – Detalhe da parcela; C – Aplicação do NPK 4.14.8 no substrato. Casa de vegetação Universidade Federal do Espírito Santo CEUNES/UFES, São Mateus, ES.

### 2.3 Bionetria

Na avaliação biométrica foram mensuradas a altura (H) cm, o diâmetro do coleto (DC) mm e número de folhas (NF) und. A altura da planta foi medida com o uso de uma fita métrica, desde o colmo até a maior folha expandida, o diâmetro do coleto foi medido com paquímetro digital ( $\pm 0,01$  mm) na região do colmo da planta e a contagem do número de folhas foi realizado por observação direta dos indivíduos.

Para a avaliação da biomassa, os indivíduos foram dissecados em raiz, caule e folha, acondicionados em sacos de papel e levados à estufa com circulação de ar forçada (70°C/72h). Após esse período, o material foi pesado em balança de precisão digital (0,01g) para a determinação da massa seca da raiz (MSR), caule (MSC) e folha (MSF). Foram calculadas a massa seca total (MST=MSR+MSC+MSF), massa seca da parte subterrânea (MSPsub=MSR+MSC), massa seca da parte aérea (MSPae=MSF), razão entre a massa seca da parte subterrânea e aérea (MSPsub/MSPae) e o coeficiente de robustez (H/DC).

#### 2.4 *Atributos foliares*

Área foliar específica (AFE) relaciona a superfície com a massa seca (AFE = AF/MSfolhas) e foi obtida a partir de duas amostras com três discos foliares de 0,84 cm<sup>2</sup> de área totalizando 24 repetições por tratamento, os discos foliares foram obtidos com o uso de um cortador de metal. Em uma balança de precisão (0,01g) os discos foram pesados para determinar o peso fresco (g). Na verificação do peso túrgido (g), os discos foliares foram hidratados em água destilada por 24 horas e novamente pesados. A espessura (mm) foi medida com um paquímetro digital ( $\pm 0,01$ mm) nos discos túrgidos. Após a hidratação os discos foliares foram acondicionados em envelopes de papel e levados à estufa de secagem à temperatura de 70°C, por 24h, e novamente pesados para a determinação do peso seco (g).

#### 2.5 *Pigmentos Fotossintetizantes*

Para a quantificação dos pigmentos fotossintéticos foram utilizadas 300 mg de material vegetal, obtidos de folha totalmente expandida. O material vegetal foi acondicionado em tubos de ensaio contendo 5 ml de acetona 80% e mantido no escuro sob temperatura de 4°C por 48 h para posterior análise espectrofotométrica. As leituras foram feitas a  $\lambda = 480$  e  $\lambda = 645$ ,  $\lambda = 665$  nm para carotenóides, clorofila b e clorofila a respectivamente. Os teores dos pigmentos fotossintéticos, expressos em mg.g<sup>-1</sup>/MF, foram calculados de acordo com as equações de ARNON (1949) e LICHTENTHALER (1987), conforme segue:  
Chl.a=[(12,7.A663).(2,69.A645)/(1000.FW).V];  
Clorb=[(22,9.A645).(4,68.A663)/1000.FW).V];

Clor.total=[(20,2.A663).(2,69. A645)/(1000.FW).V];

Carotenóides = [(1000.A470-1,82.Clor.a 85,02. Clor.b)/(198.V)].

### *2.6 Fluorescência da Clorofila a*

A fluorescência transiente da clorofila *a* foi medida utilizando um fluorômetro portátil (Handy-PEA, Hansatech, UK). As folhas foram previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos, utilizando-se clipes foliares (Hanstech) para a oxidação completa do sistema fotossintético. A intensidade da luz que atingiu a folha foi de 3000  $\mu\text{mol}$  (fótons)  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , suficiente para gerar a fluorescência máxima para todas as amostras.

### *2.7 Análise estatística*

Foram testados os modelos lineares para as doses de P, por meio de análises de regressão utilizando o programa SISVAR para verificar diferenças significativas entre os blocos e ou as doses do fertilizante. Entretanto, também se optou por submeter os dados ao teste de média, usando Tukey em nível de 5%.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Biometria

A análise de variância não apontou diferenças significativas, para todos os parâmetros considerados, entre os blocos. Contudo, a análise de regressão mostrou um bom coeficiente de determinação e médias estatisticamente significativas (Tukey a 5%) para todos os parâmetros analisados (Tabela 1). As maiores médias para a altura, o diâmetro do coleto e do número de folha estão associadas as maiores doses de NPK 4.14.8 e o quociente de robustez, ao contrário, apresentou média significativamente maior no controle. A massa foliar por área foliar significativamente maior com o aumento da dose do fertilizante (Tabela 1).

Tabela 1: Efeito do P sobre a altura (H cm), diâmetro do coleto (DC mm), número de folhas (NF und), o quociente de robustez (QR) e a área foliar específica (AFE cm<sup>2</sup>/g), área foliar específica (AFE).

NPK 4.14.8 g/planta	H cm	DC mm	NF und	QR	AFE cm <sup>2</sup> /g
0	16.30±1.52c	10.73±3.82b	2.66±1.06b	1.65±0.4 <sup>a</sup>	108.94±17.83 a
5	21.78±4.37b	17.56±3.63a	8.00±1.08a	1.24±0.1b	102.96±10.88ab
10	24.37±4.41ab	19.07±3.65a	7.33±1.35a	1.32±0.3ab	98.19±10.25b
15	26.02±3.53a	21.21±1.76a	7.25±1.03a	1.23±0.2b	95.95±10.87b
25	25.4 ±3.55ab	21.21±2.91a	8.41±1.26a	1.21±0.2b	95.69±8.01b
R <sup>2</sup>	99.36*	96.45*	68.93*	76.47*	99.91*

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Modelo linear testado para as doses de P, com seus respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e significância a 5% (\*) ou não significativo (NS), (n=12).

O aumento da dose do fertilizando influenciou significativamente no aumento das médias na alocação de biomassa na raiz, no caule e na folha, bem como o peso seco total refletido no aumentou significativamente com o aumento da dose do fertilizante (Figura 2). A razão entre a parte subterrânea e a parte aérea, ao contrário apresentou uma redução significativa com o aumento da dose do fertilizante (Tabela 2).

Tabela 2: Efeito do P sobre o peso seco da raiz (PS Raiz), do caule (PS Caule), da folha (PS Folha), peso seco total (PS Total) e a razão entre a parte subterrânea e a parte aérea (R. PSb/PA).

NPK 4.14.8 g / planta	PS Raiz (g)	PS Caule (g)	PS Folha (g)	PS Total (g)	R.PSb/PA
0	4.02±1.81 b	0.25±0.37 b	1.09±0.83 b	5.11±2.76 b	5.85±6.0 a
5	16.35±5.27 a	4.23±1.98 a	5.34±2.36 a	25.94±9.53 a	4.11±0.7 ab
10	18.17±7.46 a	3.87±2.46 a	5.86±2.51 a	27.91±11.28 a	3.96±1.3 ab
15	19.34±7.88 a	3.48±2.21 a	6.71±3.00 a	29.61±12.78 a	3.54±3.7 b
25	19.41±6.03 a	4.39±1.92 a	6.98±2.18 a	30.72±9.21 a	3.41±0.4 b
R <sup>2</sup>	91.11*	65.93*	92.47*	88.32*	67.94*

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Modelo linear testado para as doses de P, com seus respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e significância a 5% (\*) ou não significativo (NS), (n=12).



Figura 2: Aspecto geral das mudas desenvasadas após 1 ano. A – Controle; B – 5g de NPK 4.14.8 por planta; C - 10g de NPK 4.14.8 por planta; D - 15g de NPK 4.14.8 por planta; E – 25g de NPK 4.14.8 por planta.

### 3.2 Pigmentos Fotossintetizantes

Na quantificação dos pigmentos fotossintetizantes, carotenoides, clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total observamos médias significativamente maiores associadas ao aumento da dose do fertilizante. Contudo a razão clorofila *a/b* ocorreu o contrário (Tabela 3).

Tabela 3 - Carotenoides (Car - mg.g<sup>-1</sup>/MF), Clorofila b (Clo b- mg.g<sup>-1</sup>/MF), Clorofila a (Clo a - mg.g<sup>-1</sup>/MF), Clorofila total (Clo T - mg.g<sup>-1</sup>/MF) e a razão entre a Clorofila a/b (Clor a/b).

NPK 4.14.8 g / planta	Carot.	Clor. b	Clor. a	Clor. T	R. Clor. a/b
0	0.86±0.43 b	0.41±0.25 c	1.15±0.63 b	1.56±0.8 c	3.0 ±0.56 ab
5	1.01±0.26 ab	0.54±0.22 bc	1.59±0.42 ab	2.14±0.6 bc	3.08±0.41 a
10	1.35±0.47 a	1.05±0.57 a	2.24±0.77 a	3.30±1.2 a	2.41±0.69 b
15	1.34±0.32 a	0.98±0.41 a	2.21±0.68 a	3.20±1.0 ab	2.44±0.63 b
25	1.27±0.21 a	0.87±0.28 ab	2.12±0.37 a	2.99±0.5 ab	2.50±0.37 ab
R <sup>2</sup>	91.86*	86.02*	95.43*	92.64*	53.04*

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Modelo linear testado para as doses de P, com seus respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e significância a 5% (\*) ou não significativo (NS), (n=12).

### 3.3 Fluorescência da Clorofila a

A fluorescência transiente medida nas folhas dos indivíduos de *A. arenaria* submetidos aos tratamentos com NPK 4.14.8 está representada na figura 3. As curvas de fluorescência da Clorofila a mostraram um OJIP polifásico típico para todos os tratamentos. Reduções nos pontos J, I e P foram observadas no controle em relação aos indivíduos submetidos ao tratamento com o fertilizante, estes apresentaram comportamento similar independente da dose de NPK 4.14.8 utilizada.

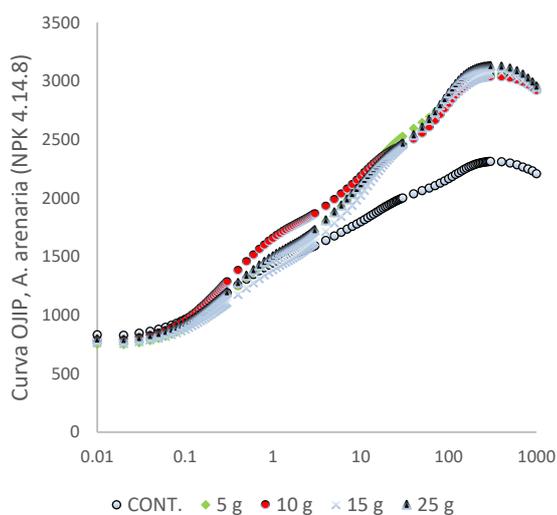


Figura 3: Efeito do P sobre a intensidade transitória de fluorescência da Clorofila a em folhas de *A. arenaria*, adaptadas ao escuro.

A fluorescência inicial ( $F_0$ ) não diferiu significativamente entre os tratamentos. Contudo, os valores da fluorescência máxima ( $F_M$ ) e a eficiência quântica máxima do FSII ( $F_V/F_M$ ) foram significativamente menores no controle em relação aos demais tratamentos que não apresentaram variação entre si (Tabela 4).

Tabela 4 – Efeito do fósforo sobre a  $F_0$ : Fluorescência basal,  $F_M$ : Fluorescência máxima e a  $F_V/F_M$  = máxima eficiência fotoquímica em mudas de *A. arenaria*.

NPK 4.14.8 g /planta	$F_0$	$F_M$	$F_V/F_M$
0	737.30±79.81 a	2297.60±400.05 b	0.67±0.06 b
5	684.36± 66.74 a	2987.90±370.08 a	0.76±0.02 a
10	686.90±80.47 a	2984.45±292.51 a	0.76±0.02 a
15	727.20±70.85 a	3072.40±393.76 a	0.75±0.03 a
25	733.63±74.26 a	3120.90±301.63 a	0.76±0.02 a
R <sup>2</sup>	45.97 <sup>(NS)</sup>	85.00*	74.03*

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Modelo linear testado para as doses de P, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e significância a 5% (\*) ou não significativo (NS), (n=12).

Os valores dos fluxos específicos de energia mostraram que para o número total de fótons absorvidos (ABS/RC) e para o fluxo de dissipação de elétrons por centro de reação em t=0 ( $DI_0/RC$ ) foram significativamente maiores no controle em relação aos demais tratamentos que não apresentaram variação entre si. O fluxo de energia capturado por centro de reação em t=0 ( $TR_0/RC$ ) não apresentou variação estatística entre os tratamentos já o fluxo de transporte ( $ET_0/RC$ ) foi significativamente maior para as doses 15g e 25g em relação aos demais tratamentos (tabela 5).

Tabela 5 – Influência do P sobre o fluxo específico ou atividade expressas por centro de reação: ABS/RC – fluxo de absorção;  $TR_0/RC$  – fluxo de energia capturada;  $ET_0/RC$  – fluxo de transporte de elétrons;  $DI_0/RC$  – fluxo de dissipação de elétrons em mudas de *A. arenaria*.

NPK 4.14.8 g / planta	ABS/RC	$TR_0/RC$	$ET_0/RC$	$DI_0/RC$
0	2.88±0.5 a	1.81±0.21 a	0.99±0.18 b	1.06±0.32 a
5	2.44±0.31 b	1.80±0.16 a	1.11±0.04 ab	0.64±0.15 b
10	2.41±0.28 b	1.76±0.13 a	1.05±0.13 ab	0.63±0.11 b
15	2.29±0.25 b	1.68±0.12 a	1.14±0.45 a	0.61±0.16 b
25	2.37±0.22 b	1.74±0.01 a	1.16±0.26 a	0.63±0.13 b
R <sup>2</sup>	92.12*	66.03 <sup>(NS)</sup>	63.87*	83.68*

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Modelo linear testado para as doses de P, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e significância a 5% (\*) ou não significativo (NS), (n=12).

## 4 DISCUSSÃO

Como observado nos resultados, todos os tratamentos apresentaram médias significativamente melhores quando comparadas com o controle, indicando ser este um procedimento positivo no processo de produção de mudas de *A. arenaria*. A adubação NPK 4.14.8 favoreceu o crescimento em altura, no diâmetro do coleto e no número de folhas de *A. arenaria*. De modo geral, as palmeiras, apresentam elevada demanda por nutrientes, tanto na fase de crescimento vegetativo quanto na fase reprodutiva (BOVI & CANTARELLA, 1996).

O P faz parte da estrutura da planta e de várias moléculas-chave no metabolismo das plantas, compondo membranas (fosfolipídios), RNA (ácido ribonucleico), DNA (ácido desoxirribonucleico), ATP (trifosfato de adenosina) e ésteres de carboidratos, além de promover a formação de raiz e auxiliar a fixação simbiótica do N (MALAVOLTA et al., 1997). Segundo alguns estudos, AGUIAR et al., (1997), com o Pau Brasil; SILVA et al., (2002), com a graviola; CERQUEIRA NETO et al., (2002) em *Citrus*; e, BOVI et al., (2000) na pupunheira relatam que os parâmetros de altura, diâmetro e número de folhas estão mais associados a disponibilidade de N. O nitrogênio é um elemento essencial ao crescimento vegetativo de palmeiras, largamente utilizado na síntese protéica, constituindo-se ainda em parte da molécula da clorofila (SALISBURY & ROSS, 1991; SECRETARIA & MARAVILLA, 1997). A adubação de cobertura realizada com 5g do NPK 20.0.20 a cada 90 dias garantiu o fornecimento de N e K e uma melhor interação com o P na fisiologia da planta.

A adubação fosfatada também promoveu um incremento na massa seca da folha, caule e raiz e, conseqüentemente na massa seca total. A importância desse nutriente para o incremento de biomassa também foi constatada por SILVA et al., (2009), cuja pesquisa com omissão de P apontou redução de 68 % na produção de massa seca total de mudas de pinhão-manso. Estudos realizados por KHAN et al., (1986) com três genótipos de coco, indicam que o cultivo de coco em solo arenoso requer fertilizantes (NPK) para o crescimento e rendimento satisfatório.

Segundo SCHUMACHER, CECONI & SANTANA, (2004) é comum o aumento de MSPA e conseqüente redução na relação R.PSb/PA na maioria das plantas com suprimento adequado de nutrientes. Por outro lado, solos com baixa fertilidade apresentam plantas com maiores valores de R.PSb/PA (SOUZA,

VENTURIN & MACEDO, 2006). Maiores valores de R.PSb/PA proporciona a planta a capacidade de explorar maior volume de solo, qualidade importante no início do desenvolvimento (RAMOS et al., 2000). Enquanto a redução da R.PSb/PA pode prejudicar o desempenho das mudas em campo (HOQUE et al., 2004). Neste caso específico, a redução é positiva pois denota uma melhora no crescimento dos sistemas caulinar e radicular trazendo à muda uma maior capacidade de sobrevivência em campo.

Outro fato importante observado foi a redução do quociente de robustez nas mudas tratadas com o fertilizante, pois quanto menor for o valor de QR, melhor será a capacidade de as mudas sobreviverem e se estabelecerem em campo (FERRAZ & ENGEL, 2011).

O P reduziu a AFE o que significa alto investimento em tecido mecânico em detrimento do tecido fotossintético, resultando em folhas mais coriáceas (BOEGER et al., 2005) e mais longevas, sendo uma estratégia ao ambiente pobre em nutrientes e com déficit hídrico (CHABOT & HICKS, 1982, REICH, et al., 1992), além de representar uma economia de carbono e de proteção contra a herbivoria (BRYANT et al., 1983).

Os tratamentos provocaram um aumento nas médias dos pigmentos carotenoides, clorofila *b* e a clorofila *a*, resultados semelhantes foi observado para espécies da família Bignoniácea (KITAJIMA & HOGAN, 2003). Contudo estes valores foram mais associados ao N. A adubação com N pode levar a um aumento no número de cloroplastos e, conseqüentemente, ao aumento na proporção dos seus constituintes, como os pigmentos (MARSCHNER, 1995). A redução das médias observadas para a razão clorofila *a/b* está de acordo com o modelo de Hikosaka e Terashima, que diz que a relação chl *a/b* deve aumentar com a menor disponibilidade de N (KITAJIMA & HOGAN, 2003). Contudo, em pau-brasil a menor razão chl *a/b* foi observada no controle (sem adubação) e tanto as adubações com N quanto sem N apresentaram tendência a uma maior razão chl *a/b*. Em *Tabebuia rosea*, uma espécie arbórea da Mata Atlântica, a chl *a/b* diminuiu com o aumento de nitrogênio foliar somente em ambiente com alta luminosidade. Plantas sob menor luminosidade, por outro lado, não tiveram esta resposta (KITAJIMA & HOGAN, 2003).

O valor de  $F_0$  é alterado por estresse do ambiente que causam alterações estruturais nos pigmentos fotossintético do FSII (BOLHÁR NORDENKAMPF et al., 1989), fato este não observado no experimento já que todos os tratamentos estavam submetidos a condições ambientais controladas. A  $F_M$  variou significativamente entre o controle e os tratamentos com o fertilizante. A  $F_M$  é proporcional a quantidade de clorofila *a* contida nos tecidos da folha (MIRANDA et al., 1981) indicando que o tratamento melhorou o desempenho fotossintético das mudas de *A arenaria*. Segundo SILVA et al. (2007), plantas que estão com aparelho fotossintético intacto, apresentam valores médios da relação  $F_v/F_m$  variando de 0,75 a 0,85, enquanto que reduções desses valores refletem danos causados por fotoinibição no centro de reação do fotossistema II (FSII).

As medições da eficiência fotoquímica do fotossistema II, estimadas através da relação entre a fluorescência variável e a fluorescência máxima da clorofila *a* ( $F_v/F_m$ ), relacionam-se com a eficiência quântica da atividade fotoquímica do FSII quando todos os centros de reação estão abertos (CORREIA et al., 2009). O fornecimento de N tem relação direta com a eficiência fotossintética. Segundo LARCHER, (2000), isto se deve ao fato das clorofilas absorverem quantidades de luz e serem responsáveis pela conversão desta energia luminosa à química, sendo mediada por fotorreceptores específicos. De acordo com SMEAL & ZHANG (1994) e LARCHER, (2000) o processo acontece devido ao metabolismo dos cloroplastos decorrerem da incorporação deste elemento nas folhas pela dependência de enzimas, formadas basicamente de proteínas, ocorrendo assim, uma interdependência com o N.

A maior eficiência fotoquímica também pode ser observada nos fluxos específicos de energia já que o fluxo de transporte de elétrons foi significativamente maior nos tratamentos com fertilizante e o contrário, menor para o fluxo de dissipação elétrons. COSTE et al., (2005), estudando a relação entre a concentração de N na folha com características fotossintéticas de 14 espécies de árvores tropicais, observou uma fraca correlação entre o aumento da concentração de N com a capacidade fotossintética e concluiu que a variação na fotossíntese está mais relacionada com o N alocado para esta função do que sua concentração foliar, neste sentido o fornecimento constante desse nutriente é ideal para o melhor desempenho fotossintético da planta.

## 5 CONCLUSÕES

A adubação com NPK 4.14.8 influenciou de forma positiva no desenvolvimento das mudas de *A. arenaria*. O uso do fertilizante melhorou os parâmetros biométricos, de biomassa e fotoquímicos produzindo mudas mais robustas a serem utilizadas em campo.

A melhor dose para a produção de mudas *A. arenaria* foi 25g de NPK 4.14.8 por planta.

A adubação fosfatada promoveu um aumento da biomassa radicular o que pode facilitar a aclimação das mudas em ambiente de restinga.

Novos estudos são necessários para verificar, em campo, as respostas ecofisiológicas das mudas produzidas com adubação fosfatada.

## 6 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, F.F.A.; PINTO, M.M.; GONÇALVES NETO, J. D.; BARBEDO, C. J. Influência da adubação no crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.). **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 42-49, 1997.
- ALMEIDA, A.L.; ARAÚJO, D.S.D. Comunidades vegetais do cordão arenoso externo da Reserva Ecológica Estadual de Jacarepiá, Saquarema, RJ. **Oecologia**, Brasil, v. 3, p. 45 - 61, 1997.
- ARAÚJO, D.S.D. & PEIXOTO, A.L. Renovação da comunidade vegetal de Restinga após uma queimada. Pp. 1-17. In: Anais do XXVI Congresso Nacional de Botânica. Rio de Janeiro 1975. **Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, 1977.
- ARAÚJO, D.S.D., E PEREIRA, M.C.A. Sandy coastal vegetation. In: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), **Tropical Biology and Natural Resources**, Oxford: EOLSS Publishers UNESCO-EOLSS, 2009.
- ARNON, D.J. Copper enzyme in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology** 24:1-15, 1949.
- BARBOSA, L.M. Modelos de repovoamento vegetal para proteção de sistemas hídricos em áreas degradadas dos diversos biomas do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/CINP, 2002. 203 f. (Relatório Parcial de Atividades da 2ª Fase – Projeto de Políticas Públicas - FAPESP - Processo 2000/02020-9).
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LONG, S.P., BAKER, N.R. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, v.3, p.497-514, 1989.
- BOVI, M.L.A.; GODOY, G.; SPIERING, S.H. Resposta de crescimento da pupunheira à adubação NPK. **Scientia Agrícola**, v.59, n1, p.161-166. Piracicaba, 2000.
- BOVI, M. L. A; CANTARELLA, H. pupunha para extração de palmito. In Raij, B.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. Recomendações de adubação para algumas culturas de estado de São Paulo. **Boletim Técnico**, 100. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 240-242, 1996.

- BRYANT, J.P., CHAPIN III, F.S. & KLEIN, D.R. Carbon/ Nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. **Oikos** 40: 357-368, 1983.
- CERQUEIRA NETO, A.; SIQUEIRA, D.L. DE; PEREIRA, P.R.G.; ALVARES, V. H. Crescimento de porta-enxerto de citrus em tubetes influenciados por doses de N. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 24, n. 1, p. 199-203, 2002.
- CHABOT, B.F. & HICKS, D.J. The ecology of leaf life spans. **Annual Review Ecology and Systematic** 13: 229-259, 1982.
- CORREIA, G.G.S. & CREPALDI, M.O.S. Taxas de crescimento e mortalidade de espécies em áreas em restauração, Parque Estadual de Itaúnas, ES. **Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental**, 2011.
- CORREIA, K. G. et al., Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila a em amendoim sob condições de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 4, p. 514 – 521, 2009.
- COSTE, S.; ROGGY, J.; IMBERT, P; BORN, C.; BONAL, D.; DREYER, E. Leaf photosynthetic traits of 14 tropical rain forest species in relation to leaf nitrogen concentration and shade tolerance. **Tree Physiology**, v. 25, p. 1127-1137, 2005.
- FERRAZ, A.V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Sandl.) e guarucaia (*Paraptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.3, p.413-423, 2011.
- HENDERSON, A. GALEANO, G. & BERNAL, R. **A Field Guide to the Palms of the Americas**. New Jersey, Princeton University, 1995.
- HENRY, A. et al., Responses to low phosphorus in high and low foliar anthocyanin coleus (*Solenostemon scutellarioides*) and maize (*Zea mays*). **Functional Plant Biology**, v.39, n.3, p.255-265, 2012.
- HOQUE, A. T. M.; HOSSAIN, M. K.; MOHIUDDINN, M.; HOQUE, M. M. Effect of inorganic fertilizers on the initial growth performance of *Anthocephalus chinenses* (Lam.) Rich. Ex. Walp. seedlings in the nursery. **Journal of Applied Sciences**, v. 4, n. 3, p. 477-485, 2004.

- KHAN, H.H.; GOPALASUNDARAM, P.; JOSHI, O.P.; NELLIAT, E.V. Effect of NPK fertilization on the mineral nutrition and yield of three coconut genotypes. **Fertilizer Research**, v.10, p.185-190, 1986.
- KITAJIMA, K.; HOGAN, K. P. Increases of chlorophyll a/b ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation and high light. **Plant, Cell and Environment**, v. 26, p. 857-865, 2003.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. RiMa Artes e textos, 2000.
- LEITE, C. O. Biologia de reprodução de *Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Kuntze (*Diplothemium maritimum* Mart.) – Palmae. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.
- LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.* 148:350-382, 1987.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 251p., 1980.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. **Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato**, 201p., 1997.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. San Diego: Academic press, 1995.
- MENDES, F.F. Controle genético da eficiência no uso de fósforo em milho tropical. Lavras: UFLA, 2012. 134p
- MENEZES, L.F.T. & ARAÚJO, D.S.D. Variação da biomassa aérea de *Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Kuntze (Arecaceae) em uma comunidade arbustiva de Palmae na Restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Biologia** 60:147-157, 2000.
- MENEZES L.F.T.; ARAÚJO, D.S.D. Regeneração e riqueza da formação arbustiva de Palmae em uma cronoseqüência pós-fogo na Restinga da Marambaia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Acta bot. bras.** 18(4): 771-780, 2004.
- MENEZES, L.F.T. Caracterização de comunidades vegetais praianas da Restinga da Marambaia, RJ. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1996.

- MENEZES, L.T.F.; ARAÚJO, D.S.D. Estrutura de duas formações vegetais no cordão externo da Restinga da Marambaia, RJ. **Acta Botânica Brasílica**, v. 13, n. 2, p. 223 - 235, 1999.
- MIRANDA, V.; BAKER, N.R.; Long, S.P.; Limitations of photosynthesis in diferente regions of de *Zea mays* leaf. **New. Phytol.**, v.89, p.179-190, 1981.
- MORAES, M.R. *Allagoptera* (Palmae). New York, The New York Botanical Garden, 1996.
- OSAKI, F. Calagem & adubação. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 503p., 1991.
- RAMOS, M.R.C.; PINTO, J.E.P.B.; FURTINI NETO, A.E.; DAVIDE, A.C. Influência da aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio no crescimento e composição mineral de mudas de pata-de-vaca (*Bauhinia forticata* Link). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.3, n.1, p. 79-86, 2000.
- REICH, P.B., WALTERS, M.B. & ELLSWORTH, D.S. Leaf lifespan in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. **Ecological Monographs** 62: 365-392, 1992.
- REIS, A.; REIS, M.S.; FANTINI, A.C. Manejo de rendimento sustentado de *Euterpe edulis*. São Paulo: USP, 59p., 1993.
- RIPLEY, B.S. et al., Quantification of the photosynthetic performance of phosphorus-deficient Sorghum by means of chlorophyll-a fluorescence kinetics. **South African Journal of Science**, v.100, n.11, p.615-618, 2004.
- RIZZINI, C. T. Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos e florísticos. São Paulo: HUCITEC-EDUSP, v. 2, 1979.
- RODRIGUES, M.A; PAOLI, A.A.S.; BARBOSA, J.M.; BARBOSA, L.M.; JUNIOR, N.A.S. Caracterização de aspectos do potencial biótico (capacidade reprodutiva) de espécies importantes para a recuperação de áreas degradadas de restinga. **Revista brasileira de biociências**, 5:633-635, 2007.
- SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology**. 4.ed. Belmont: Wadsworth Publishing, 682p., 1991.
- SCHUMACHER, M.V.; CECONI, D.E.; SANTANA, C.A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). **Revista Árvore**. v. 28, n. 1, p. 149,155, 2004.

- SECRETARIA, M.I.; MARAVILLA, J.N. Response of hybrid coconut palms to application of manures and fertilizers from field-planting to full-bearing stage. **Plantations, Recherche, Développement**, v.4, p.126-138, 1997.
- SILVA, C. A. da. Análise da composição da madeira de *Caesalpinia echinata* Lam. (Pau-brasil): subsídios para o entendimento de sua estrutura e resistência a organismos xilófagos. 2007. 132f. **Tese (Doutorado em Biologia Celular e Estrutural)** – Programa de Pós-graduação em Biologia Celular e Estrutural, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- SILVA, E.B.; TANURE, L.P.T.; SANTOS, S.R. & RESENDE Júnior, P.S. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-manso. **Pesq. Agropec. Bras.**, 44:392-397, 2009.
- SILVA, J.F. DA; VIEGAS, I.J.M.; FRAZÃO, D.A.C.; THOMAZ, M.A.A.; SILVEIRA, J.L. Avaliação do efeito da adubação NPK no crescimento de Gravioleira no Município de São Francisco do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 4p., **(Comunicado técnico, 76)**, 2002.
- SMEAL, D.; ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 9-10, p.1495- 1503, 1994.
- SOUZA, P.A. DE; VENTURIN, N.; MACEDO, R.L.G. de. Adubação mineral do ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*). **Ciência florestal**, v.16, n.3, p.261-270, 2006.
- SUGUIO, K. & MARTINS, L. Classificação da costa e evolução geológica das planícies litorâneas quaternária do sudeste e sul do Brasil. In: Academia de Ciência do Estado de São Paulo/ Simpósio sobre ecossistemas da Costa sul e sudeste brasileira, 1, Anais, 2:1-28, 1987.
- TOMLINSON, P.B. Essays on the morphology of palms. The early growth of the palm. **Principes**, v. 4, n. 4, p. 140 - 143, 1960.
- ZALUAR, H.L.T.; SCARANO, F.R. Facilitação em restingas de moitas: Um século de buscas por espécies focais. In: Esteves, F.A.; Lacerda, L.D. **Ecologia de restingas e lagos costeiros**. Macaé, NUPEM/UFRJ, p. 3 - 23. 2001.