



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

LILIANE BALDAN ZANI

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E REPRODUTIVAS DE
Allagoptera arenaria (ARECACEAE) ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
GLOBAIS EM AMBIENTE DE RESTINGA**

VITÓRIA - ES

2017

LILIANE BALDAN ZANI

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E REPRODUTIVAS DE
Allagoptera arenaria (ARECACEAE) ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
GLOBAIS EM AMBIENTE DE 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. Luiz Fernando Tavares de Menezes

Co-orientador: Prof. Dr. Antelmo Ralph Falqueto

VITÓRIA - ES

2017

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E REPRODUTIVAS DE
Allagoptera arenaria (ARECACEAE) ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
GLOBAIS EM AMBIENTE DE RESTINGA**

LILIANE BALDAN ZANI

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 20 de dezembro de 2017.

Comissão Examinadora:

Dr. Luis Fernando Tavares de Menezes - UFES
Orientador e Presidente da Comissão

Dr^a. Diolina Moura Silva - UFES
Examinador Interno

Dr. Geraldo Rogério Faustini Cuzzuol - UFES
Examinador Interno

Dr^a. Angela Pierre Vitória - UENF
Examinador Externo

Dr. Marcelo Costa Souza - UFRRJ
Examinador Externo

*Aos meus pais, irmãs, namorado,
familiares e amigos, que tornaram
possível a realização deste
trabalho, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Espírito Santo - UFES e ao Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal-PPGBV pela formação acadêmica e infraestrutura e equipamentos disponibilizados;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa de doutorado concedida;

Ao Instituto Estadual de Meio Ambiente - IEMA pela disponibilização da área de estudo;

Ao Parque Estadual de Itaúnas-PEI e todos seus funcionários pela estadia e apoio de campo;

Ao Laboratório de Ecologia de Restinga e Mata Atlântica-LERMA e a todos seus membros pelo apoio e material disponibilizado;

A Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio “Zaíra Manhães de Andrade” e todos seus funcionários pela compreensão e amizade;

Ao Prof. Luis Fernando pela orientação, apoio e confiança. Obrigado pela oportunidade de trabalho única e experiência que me fez crescer profissionalmente;

Ao Prof. Antelmo pela co-orientação, empréstimo do Hady PEA e toda ajuda fundamental neste trabalho;

A todos os professores e profissionais do PPGBV, pelo conhecimento transmitido, dedicação e valiosas contribuições;

Aos membros da banca, que aceitaram corrigir este trabalho e por todas as contribuições;

A todos os amigos que participaram das idas à campo. Muito obrigado pela ajuda e concretização desse trabalho;

Aos amigos do grupo “Campo Itaúnas”, Dayana, Francielen, Ian, Iasmini, Leonardo, Livia, Tatiane e Vinícius pela ajuda, apoio, e por tornarem as idas a campo mais divertidas. Obrigado por tornarem esses quatro anos mais “leves”;

Aos amigos Igor e Lilian pelo apoio, idas a campo e estadia nas minhas idas à São Mateus. Obrigado pela parceria fundamental nessa jornada;

Ao Ian, pelo apoio tanto acadêmico quanto emocional, carinho, amor, confiança e companheirismo. Obrigado pelos finais de semana de estudo, pelas ideias geniais, pelas viagens à Itaúnas, pelo trabalho em campo, pela ajuda incondicional dada e pela parceria de vida estabelecida;

A minha família, pela confiança, suporte, amor, carinho, por todo incentivo recebido durante essa jornada e principalmente por sempre acreditarem em mim, sendo o pilar essencial da minha vida;

A Deus toda minha gratidão.

RESUMO

A velocidade com que mudanças no clima vem acontecendo são uma ameaça em grande escala ao meio ambiente. Não se sabe como as plantas responderão a essas mudanças, pois existem poucas informações acerca das respostas ecofisiológicas das mesmas às mudanças nos padrões de temperatura e precipitação. Dessa forma, é importante identificar as possíveis vulnerabilidades das espécies nos cenários de mudanças climáticas globais. O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos isolados e combinados do aumento de temperatura (2 °C) e volume pluviométrico (25 %) na produção de biomassa, fenologia reprodutiva, trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* de *Allagoptera arenaria* em ambiente de restinga usando câmaras de topo aberto (*open top chambers* - OTC's) adaptadas e calhas coletoras de chuva. Foram selecionados 40 arbustos de *A. arenaria* distribuídos em quatro tratamentos, ambiente aberto-controle (C), aumento do volume pluviométrico em 25 % (P), aumento de temperatura em 2 °C (T) e aumento de temperatura em 2 °C e volume pluviométrico em 25 % (TP). O experimento foi montado no mês de junho de 2015 e as amostragens realizadas em novembro de 2015 e em fevereiro, junho e novembro de 2016. Os resultados demonstraram que as OTC's e as calhas foram eficazes para simular os efeitos de mudanças climáticas propostos. Os valores da variação da biomassa aérea foram maiores para o tratamento TP quando comparados ao tratamento T que, por sua vez, apresentou mais ciclos reprodutivos ao longo do período avaliado. Dessa forma foi possível verificar duas vertentes distintas entre os resultados no sentido de produção de biomassa e produção de estruturas reprodutivas. As plantas submetidas ao tratamento TP apresentaram as maiores taxas de assimilação de CO₂ (*A*), condutância estomática (*g_s*), e transpiração (*E*) enquanto que o tratamento T apresentou as menores taxas nas amostragens inicialmente. Quanto a interação entre as variáveis fotossintéticas foi possível afirmar que nos meses de novembro/2015, fevereiro/2016 e junho/ 2016 houve a maior variação entre as variáveis de trocas gasosas, enquanto que em novembro/2016 houve poucas alterações significativas entre essas variáveis. O tratamento T apresentou considerável redução nas respostas dos transientes da fluorescência da clorofila *a* e o aumento do volume pluviométrico contribuiu para amenizar os efeitos do aumento de temperatura no tratamento TP. Em P não foram observadas diferenças

em relação ao controle para as análises realizadas. Com as mudanças climáticas é possível que, *A. arenaria* desenvolva mecanismos para sobreviver ao aumento de temperatura e o aumento do volume pluviométrico pode favorecer esse processo. Possíveis aumentos de temperatura futuros poderão encurtar o ciclo reprodutivo de *A. arenaria* na tentativa de garantir o sucesso adaptativo e evolutivo dessa espécie. No ambiente de restinga essa espécie já lida com condições adversas e a tolerância à temperatura cada vez mais altas pode ser adquirida como mecanismo de adaptação ao ambiente de crescimento alterado.

Palavras-chave: Mudanças climáticas • biomassa aérea • fenologia • fotossíntese • *Allagoptera arenaria* • restinga •

ABSTRACT

The speed with which climate changes are occurring is a massive threat to the environment. It is not known how the plants will respond to these changes, since there is little information about their ecophysiological responses to changes in temperature and precipitation patterns. In this way, it is important to identify the possible vulnerabilities of species in global climate change scenarios. The objective of this work was to evaluate the isolated and combined effects of temperature increase (2 °C) and rainfall volume (25 %) on biomass production, reproductive phenology, gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence of *Allagoptera arenaria* in restinga environment open top chambers (OTC's) and rain gutters. A total of 40 *A. arenaria* shrubs were selected from four treatments, open-control environment (C), 25 % (P) rainfall increase, 2 °C (T) temperature increase and 2 °C and pluviometric volume in 25 % (TP). The results showed that OTC's and gutters were effective in simulating the effects of proposed climate changes. The values of aerial biomass variation were higher for the TP treatment when compared to the T treatment, which, in turn, presented more reproductive cycles throughout the evaluated period. In this way it was possible to verify two different aspects between the results in the sense of allocation between biomass and reproduction. Plants submitted to TP treatment had the highest rates of assimilation of CO₂ (*A*), stomatal conductance (*g_s*), and transpiration (*E*), while T treatment presented the lowest rates in the samplings initially. As for the interaction between the photosynthetic variables, it was possible to affirm that in the months of November/2015, February/2016 and June/2016 there was a greater variation between the variables of gas exchange, whereas in November/2016 there were few significant alterations between these variables. The treatment T presented a considerable reduction in transient responses of chlorophyll *a* fluorescence and the increase in pluviometric volume contributed to soften the effects of temperature increase in TP treatment. In P, no differences were observed in relation to the control for the analyzes performed. With the climatic changes it is possible that, *A. arenaria* develops mechanisms to survive the temperature increase and the increase of the pluviometric volume can favor this process. Possible future temperature increases may shorten the reproductive cycle of *A. arenaria* in an attempt to guarantee the adaptive and evolutionary success of this species. In the restinga environment, this species already deals with adverse conditions and higher

temperature tolerance can be acquired as a mechanism of adaptation to the altered growth environment.

Keywords: Climate change • aerial biomass • phenology • photosynthesis • *Allagoptera arenaria* • restinga •

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- Figura 1: Mudança da média da temperatura global observada de 1900 a 2005 e a projeção até 2100 em dois cenários. Fonte: IPCC (2014).....32
- Figura 2: Previsão das mudanças climáticas no Brasil até 2100 Fonte: Adaptado de RAN1 (2013).33
- Figura 3: Localização do Parque Estadual de Itaúnas e da área de estudo no município de Conceição da Barra, Espírito Santo, Brasil39
- Figura 4: Indivíduo de *Allagoptera arenaria* em formação arbustiva aberta na restinga do PEI (A). Em destaque a inflorescência (B) e infrutescência com frutos maduros (C). Foto: Zani, L. B. 2017.....41

CAPÍTULO 1 - EFEITOS COMBINADOS DO CLIMA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E FENOLOGIA REPRODUTIVA DE *Allagoptera arenaria* (ARECACEAE) EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS GLOBAIS

- Figura 1: Arbustos de *Allagoptera arenaria* submetidos aos tratamentos. A: Tratamento C, controle-ambiente aberto. B: Tratamento P, aumento do volume de chuva (25 %). C: Tratamento T, incremento de temperatura (2 °C). D: Tratamento TP, incremento de temperatura (2 °C) e volume de chuva (25 %). Fonte: ZANI, L.B. (2017).....61
- Figura 2: Diagrama ombrotérmico referente ao período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016 para região norte do Espírito Santo. A região destacada refere-se aos períodos secos ($P < 2T$)..65
- Figura 3: Temperatura e umidade relativa do ar sob as copas de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) avaliado em agosto/2016 as 12:00 horas Mudança da média da temperatura global observada de 1900 a 2005 e a projeção até 2100 em dois cenários. Fonte: IPCC (2014)..66

Figura 4: Variação diária de temperatura e umidade relativa do ar abaixo da copa de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos: sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) das 08:00 as 16:00 horas em outubro/2016.....66

Figura 5: Variação da biomassa aérea/indivíduo avaliada no período de junho/2015 a novembro/2016 nos indivíduos de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP)..67

Figura 6: Histogramas circulares com o índice de atividade das fenofases floração e frutificação (infrutescências verdes e maduras) de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) no período de junho/2015 a novembro/2016..69

CAPÍTULO 2 - ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DE *Allagoptera arenaria* (ARECACEAE) EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS GLOBAIS

Figura 1: Temperatura máxima e mínima média (°C) e precipitação total (mm), entre os meses de janeiro de 2015 a dezembro de 2016 para região norte do Espírito Santo. Fonte: BDMEP - INMET.....91

Figura 2: Análise dos componentes principais (PCA) entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO₂ (*A*), condutância estomática (*g_s*), concentração intercelular de CO₂ (*C_i*), transpiração (*E*), razão entre concentrações de CO₂ intra e extracelular (*C_i/C_a*), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (*T_i*), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (*A/g_s*), eficiência de carboxilação (*A/C_i*) e eficiência do uso da água (*A/E*) e os tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) do mês de novembro/2015 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.....95

Figura 3: Análise dos componentes principais (PCA) entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO₂ (*A*), condutância estomática (*g_s*), concentração intercelular de CO₂ (*C_i*), transpiração (*E*), razão entre concentrações de CO₂ intra e extracelular (*C_i/C_a*), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura

da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) e os tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) do mês de fevereiro/2016 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.....96

Figura 4: Análise dos componentes principais (PCA) entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO_2 (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO_2 intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) e os tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) do mês de junho/2016 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.....97

Figura 5: Análise dos componentes principais (PCA) entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO_2 (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO_2 intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) e os tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) do mês de novembro/2016 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.....99

CAPÍTULO 3 - TRANSIENTES DA FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A DE *Allagoptera arenaria* (ARECACEAE) COMO FERRAMENTA NO ESTUDO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS: SIMULAÇÃO DO AUMENTO DE TEMPERATURA E VOLUME PLUVIOMÉTRICO EM AMBIENTE DE RESTINGA

Figura 1: Temperatura máxima e mínima média ($^{\circ}C$) e precipitação total (mm), durante os meses de janeiro de 2015 a dezembro de 2016 para região norte do Espírito Santo. Fonte: BDMEP - INMET.....121

Figura 2: Transiente da fluorescência da clorofila *a* de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) em novembro/2015 e fevereiro/2016. (A-C) Intensidade da fluorescência (F_t); (D-F) fluorescência variável relativa (V_{OP}); (G-I) diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa (ΔV_{OP})..... 125

Figura 3: Transiente da fluorescência da clorofila *a* de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) em junho/2016 e novembro/2016. (A-C) Intensidade da fluorescência (F_t); (D-F) fluorescência variável relativa (V_{OP}); (G-I) diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa (ΔV_{OP})..... 126

Figura 4: Variação da fluorescência da clorofila *a* de *Allagoptera arenaria* entre os pontos O-J (V_{OJ}) e diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa (ΔV_{OJ}) nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) em fevereiro/2016 mostrando a banda-K.. 127

Figura 5: Fluxo fenomenológico de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) em novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/2016. Sendo: ABS/CS (número de fótons absorvidos por seção transversal); DI_0/CS (energia de dissipação por seção transversal em $t=0$); TR_0/CS (taxa máxima de energia bloqueada por seção transversal em $t=0$); ET_0/CS (transporte de elétrons por seção transversal em $t=0$) e RC/CS (densidade de centros de reação por seção transversal)..... 131

Figura 6: Radar com os fluxos específicos e fenomenológicos nos meses de novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/2016 obtidos dos transientes de fluorescência da clorofila *a* de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP). Cada parâmetro é expresso como fração em relação ao tratamento controle (C=100%).. 136

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - EFEITOS COMBINADOS DO CLIMA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E FENOLOGIA REPRODUTIVA DE *Allagoptera arenaria* (ARECACEAE) EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS GLOBAIS

Tabela 1: Número de estruturas e frequência das fenofases observadas por mês para floração e frutificação dos indivíduos de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) no período de junho/2015 a novembro/2016.....68

Tabela 2: Número de observações de fenofases (n), ângulo médio (μ), comprimento do vetor médio (r), teste de Rayleigh (Z) para as fenofases floração e frutificação dos indivíduos de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) no período de junho/2015 a novembro/2016.....70

CAPÍTULO 2 - ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DE *Allagoptera arenaria* (ARECACEAE) EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS GLOBAIS

Tabela 1: Assimilação líquida de CO₂ (A, $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{molH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração intercelular de CO₂ (C_i , $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e transpiração (E, $\text{molH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), razão entre concentrações de CO₂ intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV, kPA), temperatura da folha (T_f , °C), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s , $\mu\text{molCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$), eficiência de carboxilação (A/C_i , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$) e a eficiência do uso da água (A/E , $\mu\text{molCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$) de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) nos meses de novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/210692

Tabela 2: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO₂ (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO₂ intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s),

eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) do mês de novembro/2015 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*95

Tabela 3: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO_2 (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO_2 intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) do mês de fevereiro/2015 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*97

Tabela 4: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO_2 (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO_2 intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) do mês de junho/2016 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.....98

Tabela 5: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO_2 (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO_2 intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) do mês de novembro/2016 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*99

CAPÍTULO 3 - TRANSIENTES DA FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A DE *Allagoptera arenaria* (ARECACEAE) COMO FERRAMENTA NO ESTUDO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS: SIMULAÇÃO DO AUMENTO DE TEMPERATURA E VOLUME PLUVIOMÉTRICO EM AMBIENTE DE RESTINGA

Tabela 1: Dados técnicos das curvas OJIP e os parâmetros de teste JIP selecionados utilizados neste estudo com *Allagoptera arenaria* (STRASSER, et al., 2004). 123

Tabela 2: Fluorescência inicial (F_0), variável (F_v) e máxima (F_m) e área entre a curva de fluorescência e F_m de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) para os meses de novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/2016.....128

Tabela 3: Parâmetros do teste JIP para os meses de novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/2016 obtidos dos transientes de fluorescência da clorofila *a* de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP). Sendo: ABS/RC (fluxo de absorção por centro de reação); TR_0/RC (fluxo de energia capturada por centro de reação em $t=0$); ET_0/RC (fluxo de transporte de elétrons por centro de reação em $t=0$); DI_0/RC (fluxo de energia dissipada por centro de reação em $t=0$); $\phi_{PO} = F_v/F_m$ (rendimento quântico máximo do PSII); ϕ_{EO} (rendimento quântico do transporte de elétrons de QA^- para o sistema acceptor de elétrons); Ψ_0 (probabilidade da energia de excitação mover um elétron após QA) e IP_{ABS} (índice de desempenho baseado na absorção) 129

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	20
2. OBJETIVO GERAL	23
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4. REFERÊNCIAS	24
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
5.1 Mudanças climáticas.....	32
5.2 A temperatura na ecofisiologia das plantas.....	34
5.3 Relações hídricas na ecofisiologia das plantas.....	36
5.4 A restinga	37
5.5 <i>Allagoptera arenaria</i>	40
6. REFERÊNCIAS	42
CAPITULO 1 – EFEITOS COMBINADOS DO CLIMA DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E FENOLOGIA REPRODUTIVA DE <i>Allagoptera arenaria</i> (ARECACEAE) EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS GLOBAIS.....	55
RESUMO.....	56
ABSTRACT	57
1. INTRODUÇÃO.....	58
2. MATERIAIS E MÉTODOS	60
2.1. Área e espécie de estudo.....	60
2.2. Delineamento experimental.....	60
2.3. Monitoramento das variáveis ambientais.....	62
2.4. Variação da biomassa aérea.....	62
2.5. Fenologia reprodutiva.....	62
2.6. Análises estatísticas.....	63
3. RESULTADOS	65
3.1 Dados climáticos e variáveis ambientais	65
3.2 Biomassa aérea	66
3.3 Fenologia reprodutiva.....	67
4. DISCUSSÃO	71
5. CONCLUSÕES.....	75
6. REFERÊNCIAS.....	76

CAPITULO 2 – ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DE <i>Allagoptera arenaria</i> (ARECACEAE) EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS GLOBAI.....		84
RESUMO.....		85
ABSTRACT		86
1. INTRODUÇÃO.....		87
2. MATERIAIS E MÉTODOS		89
2.1 Área e espécie de estudo.....		89
2.2 Delineamento experimental.....		89
2.3 Análise de trocas gasosas.....		90
2.4 Análise estatística		90
3. RESULTADOS.....		91
3.1 Dados climáticos		91
3.2 Trocas gasosas.....		91
3.3 Análise integrada entre as variáveis fotossintéticas.....		94
4. DISCUSSÃO.....		100
5. CONCLUSÕES.....		106
6. REFERÊNCIAS.....		107
CAPITULO 3 – TRANSIENTES DA FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A DE <i>Allagoptera arenaria</i> (ARECACEAE) COMO FERRAMENTA NO ESTUDO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS: SIMULAÇÃO DO AUMENTO DE TEMPERATURA E VOLUME PLUVIOMÉTRICO EM AMBIENTE DE RESTINGA.		116
RESUMO.....		117
ABSTRACT		118
1. INTRODUÇÃO.....		119
2. MATERIAIS E MÉTODOS		121
2.1 Área e espécie de estudo.....		121
2.2 Delineamento experimental.....		122
2.3 Fluorescência da clorofila a.....		122
2.4 Análise estatística		123
3. RESULTADOS		124
4. DISCUSSÃO		132
5. CONCLUSÕES.....		137
6. REFERÊNCIAS.....		138
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		146

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os modelos climáticos globais predizem o aumento da temperatura média do ar e a ocorrência de eventos extremos por todo planeta. Em algumas regiões poderá ocorrer o aumento da frequência e do volume de chuvas, enquanto que em outras, será observado períodos de seca prolongada (WELTZIN; TISSUE, 2003; SENEVIRATNE et al., 2012; FISCHER et al., 2013; SINGH et al., 2013; IPCC, 2014, KNAPP, 2017). No Brasil, as previsões para a porção sul e sudeste da Mata Atlântica até 2100 indicam clima entre 2,5 °C e 3 °C mais quente e entre 25 % a 30 % mais chuvoso (RAN1, 2013).

A temperatura e a precipitação estão entre os fatores ambientais mais importantes para o desenvolvimento das plantas, pois estão diretamente envolvidos na regulação dos processos biológicos e químicos e, podem causar uma cascata de efeitos desde o organismo individual até o ecossistema (BEIER, 2004). Alguns dos principais impactos do aumento de temperatura já foram relatados nos processos de trocas gasosas das plantas (MEDLYN ET al., 2002; HAN et al., 2004; BORJIGIDAI et al., 2006; DIAS; MARENCO, 2007; HAN et al., 2008; SAGE et al., 2008; DILLEN et al., 2012; LIN et al., 2013; FLEXAS et al., 2014; CHANG et al., 2016; MEDIAVILLA et al., 2016) e na fluorescência da clorofila *a* (STRASSER et al., 2000, 2004; STRAUSS et al., 2006; TÓTH et al., 2007; CHEN; CHENG, 2009; STEFANOV et al., 2011; MATHUR et al., 2011, ZUSHI et al., 2012; LI et al., 2014; SHARMA et al., 2014; CHEN et al., 2016) contribuindo para elevação ou diminuição da assimilação de CO₂ e para inibição do fotossistema II (FSII). Além disto, alguns trabalhos têm demonstrado que alterações na precipitação têm interferências substanciais nas atividades fotossintéticas das plantas (HUXMAN et al., 2004; REYNOLDS et al., 2004; IGNACE et al., 2007; PATRICK et al., 2007; RESCO et al., 2009), sendo que, aumentos na frequência de chuva podem contribuir para a amenização dos efeitos da alta temperatura na fotossíntese das plantas (SONG et al., 2016).

Outros estudos tem demonstrado os efeitos das mudanças de temperatura e precipitação na fenologia (FANG; CHEN, 2015; RAI, 2015; KEYZER et al., 2017; MENDOZA et al., 2017; PREVÉY et al., 2017) indicando que as plantas estão modificando seu ciclo de vida (PARMESAN; YOHE, 2003; MENZEL et al., 2006; ROSENZWEIG et al., 2008; GORDO; SANZ, 2010; WOLKOVICH et al., 2012) e na

produção de biomassa vegetal (KARDOL et al., 2010) afetando, principalmente, a disponibilidade e a eficiência do uso de recursos potencialmente limitantes ao crescimento (DE VALPINE; HARTE, 2001). Por sua vez, estudos com precipitação adicional tem mostrado aumentos na produtividade das plantas (KNAPP et al., 2002; LEVINE et al., 2011; MIRANDA et al., 2011; YANG et al., 2011; SPENCE et al., 2016).

Na restinga, ecossistema associado à Mata Atlântica, as espécies já lidam com altas temperaturas atmosféricas, deficiência hídrica e nutricional do solo (SCARANO, 2002). Os efeitos das mudanças no clima elevaria essas características a um ponto ainda mais extremo, levando as espécies a se aclimatarem e adaptarem ou migrarem para outras regiões. A palmeira *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze é uma espécie capaz de colonizar áreas abertas desse ambiente, apresentando altas taxas de recrutamento em solo nu (ZALUAR; SCARANO, 2000; SCARANO et al., 2004; CARVALHO et al., 2014; MENEZES et al., 2017). Este processo de ocupação de áreas abertas de restinga, onde as plantas vencem às condições impróprias para o estabelecimento e desenvolvimento ainda continuam obscuros para a maioria das plantas que ocupam este ambiente. Mas, já se sabe que *A. arenaria* desempenha importante papel no processo de sucessão ecológica nas restingas, atuando, principalmente, como planta facilitadora (MENEZES et al., 2017). O entendimento de como esta espécie responderá às futuras condições climáticas contribuirá para o compreensão de como a vegetação de restinga responderá as alterações de elevação da temperatura e pluviosidade.

Para elucidar os mecanismos de resposta de *A. arenaria* às mudanças climáticas, foi proposto neste trabalho a avaliação ecofisiológica e reprodutiva dessa espécie em ambiente natural de restinga, utilizado câmaras de topo aberto (*open top chambers* - OTC's) e calhas coletoras de chuva e a simulação do aumento de temperatura em 2 °C e do aumento do volume pluviométrico em 25 %, respectivamente, assim como, o efeito combinado desses fatores.

O capítulo I trata dos efeitos isolados e combinados do aumento de temperatura e do volume pluviométrico sobre a produção de biomassa e fenologia reprodutiva de *A. arenaria*. As hipóteses de que *A. arenaria* se beneficiaria com os efeitos combinados de maior temperatura e volume pluviométrico para investir na produção de biomassa aérea e que, o aumento de temperatura isoladamente, poderia acelerar o ciclo de vida dessa espécie foram testadas.

No capítulo II foi verificado os efeitos isolados e combinados do aumento de temperatura e volume pluviométrico sobre a atividade fotossintética de *A. arenaria* e o tempo de aclimação da planta sob essas condições. Neste caso, as hipóteses foram de que o aumento de temperatura diminuiria a assimilação de CO₂ pelo efeito do aumento do DPV no fechamento estomático e que o aumento de precipitação poderia aumentar a disponibilidade hídrica para as raízes das plantas, contribuindo para a abertura estomática e influxo de CO₂ e aumentando as taxas fotossintéticas, quando combinado ao efeito do aumento de temperatura. Além desta, hipotetizou-se que, após um tempo de exposição às mudanças de temperatura e disponibilidade hídrica poderia ocorrer aclimação da planta às novas condições ambientais impostas.

No capítulo III foi analisado os efeitos isolados e combinados de aumento de temperatura e volume pluviométrico em indivíduos de *A. arenaria* na atividade do FSII por meio do transiente da fluorescência da clorofila *a* e verificou-se como essa espécie responde ao tempo de exposição aos tratamentos e como o aumento do volume pluviométrico pode favorecer esse processo. A hipótese foi de que *A. arenaria* sob o efeito isolado do aumento de temperatura sofreria danos no FSII e que esses danos seriam amenizados com o efeito combinado do aumento do volume pluviométrico ao de temperatura.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi identificar os possíveis efeitos isolados e combinados do aumento de temperatura e volume pluviométrico sobre a ecofisiologia e reprodução de *Allagoptera arenaria* em ambientes de restinga utilizando câmaras de topo aberto (OTC's) e calhas coletoras de chuva.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I. Investigar a variação de biomassa aérea e mudanças nos ciclos fenológicos reprodutivos de *A. arenaria* em resposta ao aumento de temperatura em 2 °C e volume pluviométrico em 25 %, analisando a influência dos efeitos isolados e combinados desses fatores climáticos na produção de biomassa aérea e de estruturas reprodutivas, utilizando câmaras de topo aberto (OTC's) e calhas coletoras de chuva em ambiente de restinga;

II. Verificar os efeitos isolados e combinados do aumento de temperatura em 2 °C e volume pluviométrico em 25 % na atividade fotossintética de *A. arenaria* por meio de medidas das variáveis de trocas gasosas e o tempo de aclimação dos indivíduos sob essas condições, utilizando câmaras de topo aberto (OTC's) e calhas coletoras de chuva em ambiente de restinga;

III. Avaliar os efeitos isolados e combinados do aumento de temperatura em 2 °C e volume pluviométrico em 25 % na atividade do fotossistema II em indivíduos de *A. arenaria*, por meio do transiente da fluorescência da clorofila a e verificar como essa espécie responde ao tempo de exposição ao aumento de temperatura e como o aumento do volume pluviométrico pode favorecer esse processo, utilizando câmaras de topo aberto (OTC's) e calhas coletoras de chuva em ambiente de restinga.

4. REFERÊNCIAS

BEIER, C. Climate change and ecosystem function - full-scale manipulations of CO₂ and temperature. **New Phytologist**, v. 162, n.2, p. 243-251, 2004.

BORJIGIDAI, A.; HIKOSAKA, K.; HIROSE, T.; HASEGAWA, T.; OKADA, M.; KOBAYASHI, K. Seasonal changes in temperature dependence of photosynthetic rate in rice under a free-air CO₂ enrichment. **Annals of Botany**, v. 97, n. 4, p. 549-557, 2006.

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.

CHANG, J.D.; MANTRIC, N.; SUN, B.; JIANG, L.; CHENE, P.; JIANG B.; JIANG Z.; ZHANG, J.; SHEN J.; LU H.; LIANG, Z. Effects of elevated CO₂ and temperature on *Gynostemma pentaphyllum* physiology and bioactive compounds. **Journal of Plant Physiology**, v. 196-197, p. 41-52, 2016.

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.

CHEN, L.S.; CHENG, L. Photosystem 2 is more tolerant to high temperature in apple (*Malus domestica* Borkh.) leaves than in fruit peel. **Photosynthetica**, v. 47, n. 47, p. 112-120, 2009.

DE VALPINE, P.; HARTE, J. Plant responses to experimental warming in a montane meadow. **Ecology**, v. 82, n. 3, p. 637-648, 2001.

DIAS, D.P.; MARENCO, R.A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 305-311, 2007.

DILLEN, S.Y.; DE BEECK, M.O.; HUFKENS, K.; BUONANDUCI, M.; PHILLIPS, N. Seasonal patterns of foliar reflectance in relation to photosynthetic capacity and color index in two co-occurring tree species, *Quercus rubra* and *Betula papyrifera*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 160, p. 60-68, 2012.

FANG, X.; CHEN, F.; Plant phenology and climate change. **Journal of Asian Earth Sciences**, v. 58, n. 6, p. 1043-1044, 2015.

FISCHER, E.M.; BEYERLE, U.; KNUTTI, R. Robust spatially aggregated projections of climate extremes. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 12, p. 1033-1038, 2013.

FLEXAS, J.; CARRIQUÍA, M.; COOPMANB, R.E.; GAGOC, J.; GALMÉSA, J.; MARTORELLA, S.; MORALES, F.; DIAZ-ESPEJOE, A. Stomatal and mesophyll conductances to CO₂ in different plantgroups: Underrated factors for predicting leaf photosynthesis responses to climate change? **Plant Science**, v. 226, p. 41–48, 2014.

GORDO, O; SANZ, J. J. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. **Global Change Biology**, v. 16, n. 3, p. 1082-1106, 2010.

HAN, Q.; KAWASAKI, T.; NAKANO, T.; CHIBA, Y. Spatial and seasonal variability of temperature responses of biochemical photosynthesis parameters and leaf nitrogen content within a *Pinus densiflora* crown. **Tree Physiology**, v. 24, n. 7, p. 737-744, 2004.

HAN, Q.; KAWASAKI, T.; NAKANO, T.; CHIBA, Y. Leaf-age effects on seasonal variability in photosynthetic parameters and its relationships with leaf mass per area and leaf nitrogen concentration within crown. **Tree Physiology**, v. 28, n. 4, p. 551-558, 2008.

HUXMAN, T.E.; SNYDER, K.A.; TISSUE, D.T.; LEFFLER, A.J.; OGLE, K.; POCKMAN, W.T.; SANDQUIST, D.R.; POTTS, D.L.; SCHWINNING, S. Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. **Oecologia**, v. 141, n.2, p. 254-268, 2004.

IGNACE, D.D.; HUXMAN, T.E.; WELTZIN, J.F.; WILLIAMS, D.G. Leaf gas exchange and water status response of a native and nonnative grass to precipitation across contrasting soil surfaces in the Sonoran desert. **Oecologia**, v. 152, n. 3, p. 401–413, 2007.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change. Edited by FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J.; MASTRANDREA, M.D.; BILIR T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE, L.L. Cambridge/New York: Cambridge University Press/ IPCC, 2014.

KARDOL, P.; CAMPANY, C.E.; SOUZA, L.; NORBY, R.J.; WELTZIN, J.F.; CLASSEN, A.T. Climate change effects on plant biomass alter dominance patterns and community evenness in an experimental old-field ecosystem. **Global Change Biology**, v. 16, n. 10, p. 2676-2687, 2010.

KEYZER, C.W. DE; RAFFERTY, N.E.; INOUE, D.W.; THOMSON, J.D. Confounding effects of spatial variation on shifts in phenology. **Global Change Biology**, v. 23, n. 5, p. 1783-1791, 2017.

KNAPP, A.K.; FAY, P.A.; BLAIR, J.M.; COLLINS S.L.; SMITH, M.D.; CARLISLE, J.D.; HARPER, C.W.; DANNER, B.T.; LET, M.S.; MACARRON J.K. Rainfall Variability, Carbon Cycling, and Plant Species Diversity in a Mesic Grassland. **Science**, v. 298, n. 5601, p. 2202–2205, 2002.

KNAPP. A.K.; AVOLIO, M.L.; BEIER, C.; CARROLL, C.J.W.; COLLINS, S.L.; DUKES, J.S.; FRASER, L.H.; GRIFFIN-NOLAN, R.J.; HOOVER, D.L.; JENTSCH, A; LOIK, M.L.; PHILLIPS, R.P.; POST, A.K.; SALA, O.E.; SLETTE, I.J.; YAHDJIAN, L.; SMITH, M.D. Pushing precipitation to the extremes in distributed experiments: recommendations for simulating wet and dry years. **Global Change Biology**, v. 23, n. 7, p. 1774–1782.

LEVINE, J.M.; MCEACHERN, A.K.; COWAN, C. Seasonal timing of first rain storms affects rare plant population dynamics. **Ecology**, v. 92, n. 12, p. 2236-2247, 2011.

LI, L.; LI, X.L.; XU, X. W.; LIN, L.S.; ZENG, F.J. Effects of high temperature on the chlorophyll a fluorescence of *Alhagi sparsifolia* at the southern Taklamakan Desert. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, n. 2, p. 243–249, 2014.

LIN, Y.S.; MEDLYN, B.E.; DE KAUWE M.G.; ELLSWORTH, D.S. Biochemical photosynthetic responses to temperature: how do interspecific differences compare with seasonal shifts? **Tree Physiology**, v. 33, n. 8, p. 793–806. 2013.

MATHUR, S.; JAJOO, A.; MEHTA, P.; BHARTI, S. Analysis of elevated temperature-induced inhibition of photosystem II using chlorophyll a fluorescence induction kinetics in wheat leaves (*Triticum aestivum*). **Plant Biology**, v. 13, n. 1, p. 1-6, 2011.

MEDIAVILLA, S.; GONZÁLEZ-ZURDO, P.; BABIANO, J.; ESCUDERO, A. Responses of photosynthetic parameters to differences in winter temperatures throughout a temperature gradient in two evergreen tree species. **European Journal of Forest Research**, v. 135, n. 5, p. 871-883, 2016.

MEDLYN, B.E.; DREYER, E.; ELLSWORTH, D.; FORSTREUTER, M.; HARLEY, P.C.; KIRSCHBAUM, M.U.F.; LE ROUX, X.; MONTPIED, P.; STRASSEMAYER, J.; WALCROFT, A.; WANG, K.; LOUSTAU, D. Temperature response of parameters of a biochemically based model of photosynthesis. II. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 9, p. 1167-1179, 2002.

MENDOZA, I.; PERES, C.A.; MORELLATO, L.P. *Continental-scale patterns and climatic drivers of fruiting phenology: A quantitative Neotropical review*. **Global and Planetary Change**, v. 148, p.227–241, 2017.

MENEZES, L.F.T.; PUGNAIRE, F.I.; MATALLANA, 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**, versão online, 2017.

MENZEL, A.; SPARKS, T.H.; ESTRELLA, N.; KOCH, E.; AASA, A.; AHAS, R.; ALM-KÜBLER, K.; BISSOLLI, P.; BRASLAVSKÁ, O.; BRIEDE, A.; CHMIELEWSKI, F. M.; CREPINSEK, Z.; CURNEL, Y.; DAHL, Å.; DEFILA, C.; DONNELLY, A.; FILELLA, Y.; JATCZAK, K.; MÅGE, F.; MESTRE, A.; NORDLI, Ø.; PEÑUELAS, J.; PIRINEN, P.; REMIŠOVÁ, V.; SCHEIFINGER, H.; STRIZ, M.; SUSNIK, A.; VLIET, A. J. H. V.; WIELGOLASKI, F. E.; ZACH, S.; ZUST, A. European phenological response to climate change matches the warming pattern. **Global Change Biology**, v.12, n. 10, p. 1969-1976, 2006.

MIRANDA, J.D., ARMAS, C., PADILLA, F.M.; PUGNAIRE, F.I. Climatic change and rainfall patterns: effects on semi-arid plant communities of the Iberian Southeast. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 12, p. 1302–1309, 2011.

PARMESAN, C.; YOHE, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature**, v. 421, n. 6918, p. 37–42, 2003.

PATRICK, L.; CABLE, J.; POTTS, D.; IGNACE, D.; BARRON-GAFFORD, G.; GRIFFITH, A.; ALPERT, H.; GESTEL, N.V.; ROBERTSON, T.; HUXMAN, T.E.; ZAK, J.; LOIK, M.E.; TISSUE, D. Effects of an increase in summer precipitation on leaf, soil, and ecosystem fluxes of CO₂ and H₂O in a sotol grassland in Big Bend National Park, Texas. **Oecologia**, v. 151, n. 4, p. 704–718, 2007.

PREVÉY, J.; VELLEND, M.; RÜGER, N.; HOLLISTER, R. D.; BJORKMAN, A. D.; MYERS-SMITH, I. H.; ELMENDORF, S. C.; CLARK, K.; COOPER, E. J.; ELBERLING, B.; FOSAA, A. M.; HENRY, G. H. R.; HØYE, T. T.; JÓNSDÓTTIR, I. S.; KLANDERUD, K.; LÉVESQUE, E.; MAURITZ, M.; MOLAU, U.; NATALI, S. M.; OBERBAUER, S. F.; PANCHEN, Z. A.; POST, E.; RUMPF, S. B.; SCHMIDT, N. M.; SCHUUR, E. A. G.; SEMENCHUK, P. R.; TROXLER, T.; WELKER, J. M.; RIXEN, C. Greater temperature sensitivity of plant phenology at colder sites: implications for convergence across northern latitudes. **Global Change Biology**, v. 23, n. 7, p. 2660-2671, 2017.

RAI, P.K. A concise review on multifaceted impacts of climate change on plant phenology. **Environmental Skeptics and Critics**, v. 4, n. 4, p.106-115, 2015.

RAN1 - **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**, Base científica das mudanças climáticas, 2013. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol1.pdf. Acesso em: 21 ago. 2017.

RESCO, V.; EWERS B.E.; SUN, W.; HUXMAN, T.E.; WELTZIN, J.F.; WILLIAMS, D.G. Drought-induced hydraulic limitations constrain leaf gas exchange recovery after precipitation pulses in the C3 woody legume, *Prosopis velutina*. **New Phytologist**, v. 181, n. 3, p. 672–682, 2009.

REYNOLDS, J.F.; KEMP, P.R.; OGLE, K.; FERNÁNDEZ, R.J. Modifying the ‘pulse-reserve’ paradigm for deserts of North America: precipitation pulses, soil water, and plant responses. **Oecologia**, v. 141, n. 2, p. 194–210, 2004.

ROSENZWEIG, C.; KAROLY, D.; VICARELLI, M.; NEOFOTIS. P.; WU, Q.; CASASSA, G.; MENZEL, A.; ROOT, T.L.; ESTRELLA, N.; SEGUIN. B.;

TRYJANOWSKI, P.; LIU, C.; RAWLINS, S.; IMESON, A. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. **Nature**, v. 435, n. 7193, p. 353-357, 2008.

SAGE, R.F.; WAY, D.A.; KUBIEN, D.S. Rubisco, Rubisco activase, and global climate change. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 7, p. 1581-1595. 2008.

SCARANO, F.R.; CIRNE, P.; NASCIMENTO, M.T.; SAMPAIO, M.C.; VILLELA, D.; 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. (Eds.), **Pesquisas de longa duração na Restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação**. São Carlos: Editora Rima, p. 77-97, 2004.

SCARANO, F.R. Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rain forest. **Annals of Botany**, v. 90, n. 4, p. 517-524, 2002.

SENEVIRATNE, S.I.; NICHOLLS, N.; EASTERLING, D. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: FIELD, C.B.; BARROS, V.; STOCKER, T.F. (Eds), **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC SREX Report). Cambridge: Cambridge University Press, p. 109-230, 2012.

SHARMA, D.K.; FERNANDEZ, J.O.; ROSENQVIST, E.; OTTOSEN, C.O.; ANDERSEN, S.B. Genotypic response of detached leaves versus intact plants for chlorophyll fluorescence parameters under high temperature stress in wheat. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 8, p. 576-586, 2014.

SONG, X.; ZHOU, G., XU, Z., LV, X., WANG, Y. Detection of Photosynthetic Performance of *Stipa bungeana* Seedling under Climatic Change using Chlorophyll Fluorescence Imaging. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 1254, 2016.

SPENCE, L.A.; LIANCOURT, P.; BOLDGIV, B.; PETRAITIS, P.S.; CASPER, B.B. Short-term manipulation of precipitation in Mongolian steppe shows vegetation influenced more by timing than amount of rainfall. **Journal of Vegetation Science**, v. 27, p. 249–258, 2016.

STEFANOV, D.; PETKOVA, V.; DENEV, I.D. Screening for heat tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines and cultivars using *JIP*-test. **Scientia Horticulturae**, v. 128, n. 1, p. 1-6, 2011.

STRASSER, R.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *In*: YUNUS, M.; PATHRE, U.; MOHANTY P. (Ed.). **Probing photosynthesis: Mechanisms, regulation and adaptation**. London: CRC Press, p. 445-483, 2000.

STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, D.A. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. Chlorophyll a Fluorescence. *In*: PAPAGEORGIU, G.C.; GOVINDJEE (Eds.). **Chlorophyll a fluorescence: A signature of photosynthesis**. Dordrecht: Springer, p. 321-362, 2004.

STRAUSS, A.J.; KRUGER, G.H.J.; STRASSER, R.J.; VAN HEERDEN, P.D.R. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, n. 2, p. 147-157, 2006.

TÓTH, S.Z.; SCHANSKER, G.; GARAB, G.; STRASSER, R.J. Photosynthetic electron transport activity in heat-treated barley leaves: the role of internal alternative electron donors to photosystem II. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1767, n. 4, p. 295-305, 2007.

WELTZIN, J.F.; TISSUE, D.T. Resource pulses in arid environments - patterns of rain, patterns of life. **New Phytologist**, v. 157, n. 2, p. 171-173, 2003.

WOLKOVICH, A.M.; COOK, B.I.; ALLEN, J.M.; CRIMMINS, T.M.; BETANCOURT, J.L.; TRAVERS, S.E.; PAU, S.; REGETZ, J.; DAVIES, T.J.; KRAFT, N.J.B.; AULT, T.R.; BOLMGREN, K.; MAZER, S.J.; MCCABE, G.J.; MCGILL, B.J.; PARMESAN, C.; SALAMIN, N.; SCHWARTZ, M.D.; CLELAND, E.E. Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. **Nature**, v. 485, n. 7399, p. 494-497, 2012.

YANG, H., LI, Y., WU, M., ZHANG, Z., LI, L.; WAN, S. Plant community responses to nitrogen addition and increased precipitation: the importance of water availability and species traits. **Global Change Biology**, v. 17, n. 9, p. 2936-2944, 2011.

ZALUAR, H.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**. Macaé: NUPEM/UFRJ, p. 3-23, 2000.

ZUSHI, K.; KAJIWARA, S.; MATSUZOE, N. Chlorophyll a fluorescence OJIP transient as a tool to characterize and evaluate response to heat and chilling stress in tomato leaf and fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 148, p. 39-46, 2012.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Mudanças climáticas

As alterações climáticas referem-se a mudança no estado do clima que pode ser identificada por modificações na média e/ou na variação das suas propriedades e que persistem durante um longo período de tempo. A mudança climática pode ocorrer tanto por meio de processos internos naturais ou forças externas, como modulações dos ciclos solares, erupções vulcânicas e as mudanças antropogênicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso da terra (IPCC, 2014).

A velocidade com que as mudanças climáticas globais ocorrem atualmente, são decorrentes do aquecimento global em consequência da intensificação do efeito estufa (DIAS, 2006). A concentração de dióxido de carbono (CO_2) no ar atmosférico tem aumentado nos últimos dois séculos devido, principalmente, às emissões associadas à queima de combustíveis fósseis e da diminuição da cobertura florestal (IPCC, 2013). Estudos mostram que nos últimos 250 anos, a concentração de CO_2 na atmosfera aumentou de 290 para 379 partes por milhão (ppm), com a previsão de atingir níveis acima de 500 ppm em 2100. Em consequência disso, tem sido observado uma elevação na temperatura média do ar que já aumentou quase $0,8^\circ\text{C}$, desde a época pré-industrial. Os cenários climáticos futuros indicam que poderá ocorrer um aumento entre, aproximadamente, 2°C a 5°C até o final deste século (IPCC, 2014) (Figura 1).

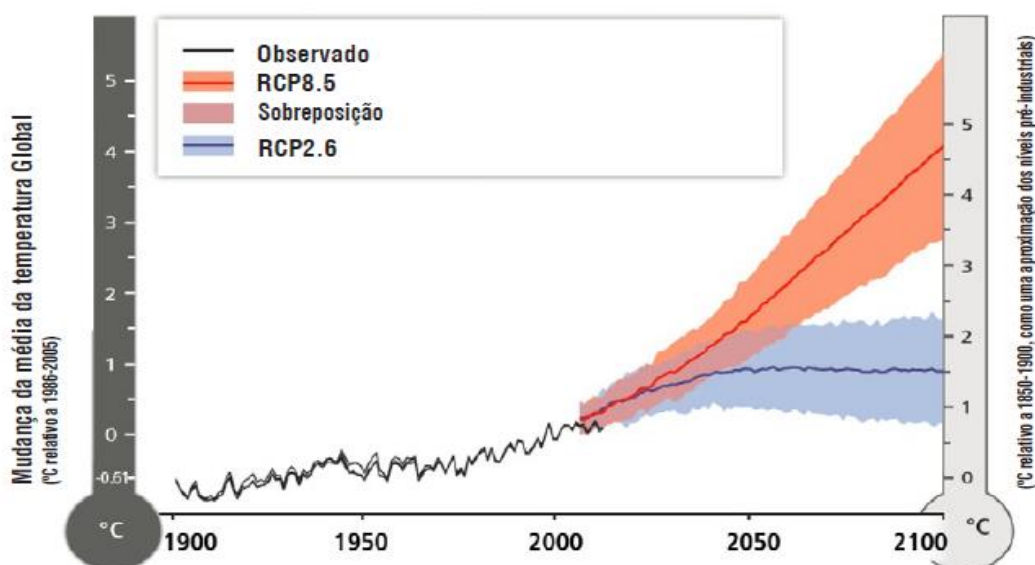


Figura 1: Mudança da média da temperatura global observada de 1900 a 2005 e a projeção até 2100 em dois cenários. Fonte: IPCC (2014).

O aumento dos níveis atmosféricos de CO₂, além de ocasionar o aumento da temperatura do ar, está levando a mudanças no ciclo hidrológico devido, principalmente, ao aumento do efeito estufa na atmosfera terrestre, fenômeno frequentemente referido como aquecimento global (KARDOL et al., 2010). As condições de clima futuro têm indicado, além do aumento de temperatura, alterações no regime de chuvas, com aumento na frequência de eventos climáticos extremos (IPCC, 2014).

Em setembro de 2013, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), divulgou o primeiro relatório de avaliação nacional (RAN1). Este é o mais completo diagnóstico já produzido sobre as tendências do clima futuro no país. As previsões para a porção sul e sudeste da Mata Atlântica até 2040 apontam para o aumento relativamente baixo de temperatura entre 0,5 e 1 °C, com intensificação nos padrões de chuva em torno de 5 % a 10 %. Por volta do século (2041-2070) continuam as tendências de aumento gradual de 1,5 a 2 °C na temperatura e de 15 % a 20 % nas chuvas, sendo que essas tendências se acentuam no final do século (2071-2100), com padrões de clima entre 2,5 e 3 °C mais quente e entre 25 % a 30 % mais chuvoso (RAN1, 2013) (Figura 2).



Figura 2: Previsão das mudanças climáticas no Brasil até 2100. Fonte: Adaptado de RAN1 (2013).

Tradicionalmente, a temperatura do ar e a precipitação são consideradas indicadores clássicas de mudanças no clima. Essas mudanças podem ter influência no meio ambiente, ainda que as tendências na precipitação acumulada ou na temperatura média sejam anuais ou sazonais (MARENGO et al., 2007). A mudança climática poderá ocasionar impactos significativos e imprevisíveis sobre a dinâmica da maioria dos sistemas naturais, o que se traduz em desafios únicos para avaliação e previsão de futuras interações em um ambiente alterado (SCHEFFERS et al., 2016).

5.2 A temperatura na ecofisiologia das plantas

A temperatura constitui um importante fator abiótico determinante da distribuição, adaptação e produção das plantas, pois está intimamente ligada nas taxas evaporativas da atmosfera (LARCHER, 2000). O metabolismo da planta é modificado quando submetido às elevadas temperaturas, proporcionando alterações na condutância estomática e da difusibilidade do mesófilo, inibindo a expansão foliar, promovendo a abscisão e o crescimento acentuado de raízes, devido ao efeito direto no potencial hídrico da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O aumento da temperatura do ar é uma das alterações climáticas globais cruciais que influencia as taxas fotossintéticas das plantas (FLEXAS et al., 2014). A elevação da temperatura em condições atuais tende a aumentar a assimilação de CO₂, uma vez que os sistemas fotossintéticos das plantas podem se aproximar de seus ótimos de funcionamento (NORBY; LUO, 2004). Contudo, podem ocorrer reduções nas trocas gasosas com o aumento da temperatura da folha acima da temperatura ótima. Essas reduções são causadas principalmente pelo aumento na respiração e redução da condutância estomática em resposta ao alto déficit de pressão de vapor (DPV) (LLOYD; FARQUHAR, 2008). A temperatura afeta a atividade de enzimas da fotossíntese e a cadeia do transporte de elétrons (SAGE; KUBIEN, 2007). Temperaturas elevadas ainda, aumentam tanto a fotorrespiração quanto o DPV. A fotorrespiração tem efeito direto e o DPV efeito indireto na fotossíntese via o seu efeito no fechamento dos estômatos (DOUGHTY; GOULDEN, 2008; MARENCO; LOPES, 2009).

Entre os diferentes fatores ambientais, a influência da temperatura na taxa fotossintética tem sido um foco de interesse nos últimos anos, por causa de suas profundas implicações no novo cenário climático. Muitos estudos abordam as

respostas das variáveis de trocas gasosas em diferentes espécies ao aumento de temperatura (MEDLYN et al., 2002; HAN et al., 2004; BORJIGIDAI et al., 2006; DIAS; MARENCO, 2007; HAN et al., 2008; SAGE et al., 2008; DILLEN et al., 2012; LIN et al., 2013; FLEXAS et al., 2014; CHANG et al., 2016; MEDIAVILLA et al., 2016).

As medidas de trocas gasosas são significativas para determinar as taxas fotossintéticas porém podem não ser eficientes para avaliar os efeitos deletérios nos cloroplastos. A avaliação da fluorescência da clorofila *a*, por sua vez, revela o nível de excitação da energia que dirige a fotossíntese e fornece subsídios para estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do fotossistema II (FSII) (SANTOS et al., 2010).

Alta temperatura modifica a estrutura e danifica o FSII. Temperaturas superiores ao nível ótimo para o crescimento da planta resultam na deterioração da estrutura e função das proteínas fotossintéticas, levando, conseqüentemente, a uma diminuição da eficiência da fotossíntese (CRAFTS-BRANDNER; SALVUCCI, 2002; SHARKEY, 2005; ALLAKHVERDIEV et al., 2008; KRESLAVSKI et al., 2009; MOHANTY et al., 2012). Alguns trabalhos tem relato que a fluorescência da clorofila *a* é um método sensível para a detecção e quantificação de mudanças induzidas por altas temperaturas nas plantas (STRASSER et al., 2000, 2004; STRAUSS et al., 2006; TÓTH et al., 2007; CHEN; CHENG, 2009; STEFANOV et al., 2011; MATHUR et al., 2011; ZUSHI et al., 2012; LI et al., 2014; SHARMA et al., 2014; CHEN et al., 2016).

Fatores climáticos, como a temperatura, também estão são relacionados à ocorrência de fenofases em diferentes formações vegetais de regiões neotropicais (MORELLATO; LEITÃO FILHO, 1992; MARQUES; OLIVEIRA, 2004; MARCHIORETTO et al., 2007; PIRANI et al., 2009). Estudos indicam que o aquecimento do clima está ocasionando mudanças na fenologia das espécies, levando-as à modificarem seu ciclo de vida em resposta às mudanças climáticas em curso (PARMESAN; YOHE, 2003; MENZEL et al., 2006; ROSENZWEIG et al., 2008; GORDO; SANZ, 2010; WOLKOVICH et al., 2012). Sabe-se que a temperatura é um dos fatores determinantes na fenologia das plantas (ESTRELLA; MENZEL, 2006; LU et al., 2006; MENZEL et al., 2006).

Alterações de temperatura também influenciam a produção de biomassa vegetal em ecossistemas terrestres (KARDOL et al., 2010). O aquecimento do ar tem

impactos sobre a biomassa vegetal (SHAVER et al., 2000; RUSTAD et al., 2001), aumentando (RUSTAD et al., 2001; WAN et al., 2005; SULLIVAN et al., 2008), ou diminuindo sua produção com o aumento de temperatura (DE BOECK et al., 2008; SHERRY et al., 2008; CARLYLE et al., 2014).

5.3 Relações hídricas na ecofisiologia das plantas

A água é o principal constituinte dos vegetais, representando 50 % da produção da massa fresca nas plantas lenhosas e cerca de 80 a 95 % nas plantas herbáceas. É indispensável para o bom funcionamento no transporte de solutos e gases, como reagente no metabolismo vegetal e estrutura dos órgãos e essencial para o crescimento da planta (LARCHER, 2000).

O conteúdo de água na planta é o resultado do balanço das taxas de absorção e de perda de água (transpiração). A transpiração é proporcional ao déficit de pressão de vapor de água na atmosfera, e o seu controle é feito pelo fechamento estomático, que é o único processo no sistema solo-planta-atmosfera que possui essa resposta instantânea. Porém, como tal controle está diretamente associado ao suprimento de CO₂ na folha, a condutância estomática deve variar ao longo do tempo, de forma a haver um mínimo de perdas de água para uma máxima assimilação de CO₂ (KRAMER; BOYER, 1995).

Quanto às relações hídricas e trocas gasosas, sabe-se que o influxo de CO₂ ocorre necessariamente através dos estômatos no processo fotossintético ocorrendo também o efluxo de água, por meio da transpiração, sendo o movimento estomático o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores. Desta forma, a disponibilidade hídrica no solo pode causar fechamento estomático limitando a condutância estomática e a transpiração, o que reduz, conseqüentemente, a taxa de fotossíntese (SILVA et al., 2010).

Em condições de precipitação ótima, os estômatos se abrem, há adequada disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, alta taxa fotossintética (SCHUUR, 2003). Quando há disponibilidade de água no solo, esta se movimenta por difusão do solo para a planta e da planta para a atmosfera, no sistema contínuo solo-planta-atmosfera, (ANGELOCCI, 2002). Com isso é capaz de manter a temperatura foliar abaixo de 45 °C por meio de esfriamento evaporativo, mesmo em ambientes com temperaturas elevadas (TAIZ; ZEIGER, 2013). A restrição da perda de água por meio do fechamento dos estômatos e aumento da aquisição de

água através do sistema radicular são mecanismos importantes para manter uma turgescência positiva, o crescimento e a sobrevivência da planta (NGUGI et al., 2004). Pangle e outros (2012), em trabalho com irrigação, constataram que a diminuição da precipitação reduziu a fotossíntese das plantas, enquanto o aumento da precipitação aumentou a transpiração.

A disponibilidade de água é um fator que desempenha papel crucial no crescimento das plantas e depende significativamente da precipitação da região onde está localizada. Em geral, as alterações nas taxas precipitação e evapotranspiração, modificam a produtividade e as funções do ecossistema (MORGAN et al., 2004). A precipitação pode ter um papel fundamental em algumas comunidades vegetais (WILLIAMS; ABBERTON, 2004; GORDO; SANZ, 2005; CRIMMINS et al., 2008; 2010) e as mudanças em seus padrões modificaram o ciclo das atividades fenológicas das plantas (BADECK et al., 2004; GORDO; SANZ, 2010).

A água é o fator ambiental mais relevante para o desenvolvimento das plantas de modo que seu excesso ocasiona sérios prejuízos podendo afetar a aeração na zona radicular e a lixiviação dos nutrientes enquanto que sua falta pode inibir o crescimento da planta e afetar o metabolismo fisiológico (BILIBIO et al., 2010; LIMA et al., 2012). Alguns trabalhos, contudo, tem demonstrado que a produção de biomassa vegetal responde positivamente ao aumento de precipitação (HUXMAN et al., 2004; SPENCE et al., 2016).

5.4 As restingas

As restingas são ecossistemas associados a Mata Atlântica que ocorrem por todo litoral brasileiro em diferentes faixas de extensões (MENEZES; ARAUJO, 2000). Sua origem está ligada às sucessivas deposições de cordões arenosos paralelos ao mar por meio de uma série de regressões e transgressões marinhas ocorridas durante o Quaternário (RONCATI; MENEZES, 2005; SILVA; BRITZ, 2005). Sobre estes sedimentos está estabelecido um conjunto de formações vegetais que variam desde estrutura herbácea até florestal (MENEZES; ARAUJO, 2005).

As formações de restingas estão submetidas a uma complexidade de fatores ambientais que muitas vezes são limitantes para a sobrevivência das plantas tais como salinidade, dessecação, oligotrofia, soterramento, inundações, alta

temperatura do ar e do solo, alta radiação solar e grande amplitude térmica diária (CRAWFORD, 2008). Por todos esses fatores, as restingas são caracterizadas ecofisiologicamente como ambientes de estresse (LÜTTGE; SCARANO, 2004) e a compreensão sobre os aspectos ecofisiológicos das plantas, tais como, estabelecimento, desenvolvimento e crescimento são fundamentais para o entendimento dos desafios que as espécies ocorrentes nos ambientes de restingas irão enfrentar frente às mudanças climáticas.

A área de estudo está localizada em uma área de restinga no Parque Estadual de Itaúnas (PEI), município de Conceição da Barra, Espírito Santo. O PEI possui área aproximada de 3.481 ha, é constituído por mata de tabuleiro, dunas, ambientes estuarinos de mangues, um trecho significativo do rio Itaúnas, área representativa de alagados e diferentes fisionomias de restinga que variam de formações herbáceas, passando por formações arbustivas, chegando a formações florestais (IEMA, 2017) (Figura 3).

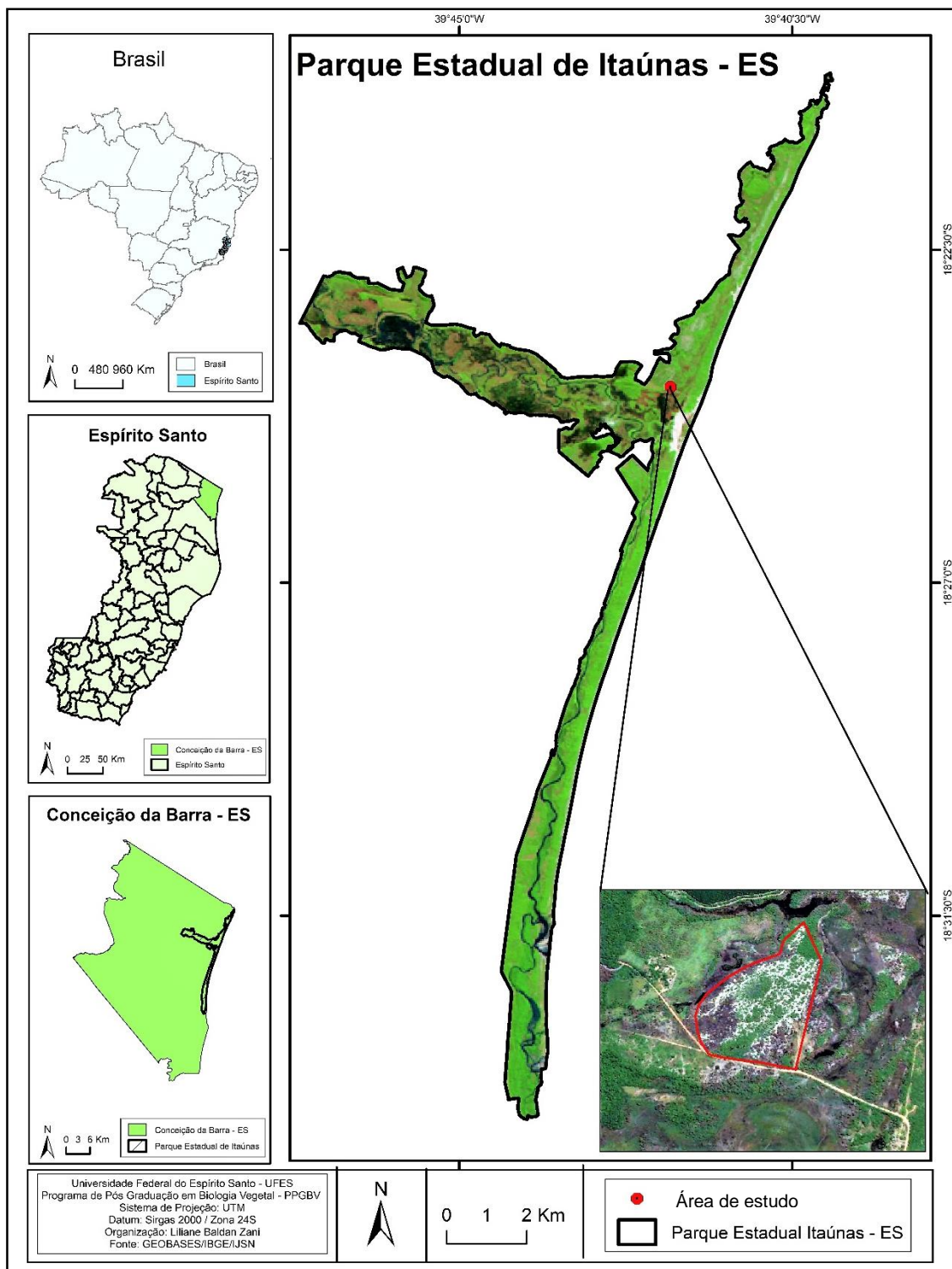


Figura 3: Localização do Parque Estadual de Itaúnas e da área de estudo no município de Conceição da Barra, Espírito Santo, Brasil.

A formação vegetal de restinga estudada é do tipo arbustiva aberta não inundada, caracterizada por vegetação em forma de moitas entrelaçadas por espaços desnudos ou com vegetação esparsa de até 1 m de altura (MONTEIRO et al., 2014).

5.5 *Allagoptera arenaria*

No ambiente de restinga destaca-se *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze, uma palmeira endêmica da região sudeste do Brasil conhecida popularmente como guriri que pode ocorrer com indivíduos isolados ou com populações densas (MORAES, 1996; REIS, 2006; GESSLER et al., 2008). Essa espécie é pioneira nesse ecossistema, sendo capaz de colonizar a areia nua favorecendo a entrada de outras espécies na comunidade, desencadeando o processo de sucessão e formação de ilhas vegetais (ZALUAR; SCARANO, 2000; SCARANO, 2002; ARAUJO et al., 2004; MENEZES; ARAUJO, 2000;). Além de criar um microclima propício para a germinação e desenvolvimento de outras espécies indicando seu papel como espécie facilitadora (SCARANO et al., 2004; CARVALHO et al., 2014; MENEZES et al., 2017). Ela é a primeira a emergir após desmatamento ou incêndios, apresentando caule subterrâneo resistente à queimada, regenerando-se em poucos dias após a passagem do fogo (ARAUJO; PEIXOTO, 1977; MENEZES, 1996; ZALUAR; SCARANO, 2001; MENEZES; ARAUJO, 2004). A senescência e queda constante das folhas secas de *A. arenaria* são fonte de matéria orgânica, aumentando a quantidade de nutrientes no solo, o que facilita a instalação e crescimento de novas espécies vegetais (MENEZES; ARAÚJO, 2004). Bem como fonte de recursos alimentares para a manutenção da fauna de frugívoros na restinga (ROCHA, 2009).

A palmeira *A. arenaria* é uma espécie subarborescente, com caules múltiplos ou simples, subterrâneos ou muito curtos, formando moitas densas (MORAES; MARTINS, 2017). A floração e frutificação ocorrem várias vezes ao longo do ano, com mais intensidade nos meses de junho e julho (SYLVESTRE et al., 1989). As flores surgem agrupadas como uma espiga, as femininas se inserem na base e as masculinas logo acima. As flores masculinas abrem-se antes das femininas. Os frutos, geralmente com uma semente, apresentam coloração amarelo alaranjada quando maduros (LORENZI et al., 2010) (Figura 4).



Figura 4: Indivíduo de *Allagoptera arenaria* em formação arbustiva aberta na restinga do PEI (A). Em destaque a inflorescência (B) e infrutescência com frutos maduros (C). Foto: Zani, L. B. 2017.

Alguns estudos com *A. arenaria* relataram a biologia reprodutiva, apresentando as características morfológicas do fruto em desenvolvimento (SYLVESTRE, 1989), a organização estrutural nas formações vegetais (MENEZES; ARAUJO, 1999; MENEZES et al., 2005), a predação de suas sementes por *Pachymerus nucleorum* e *Cerradomys subflavus* (GRENHA et al., 2008; 2010), a capacidade de regeneração pós fogo (MENEZES; ARAUJO, 1999; MENEZES; ARAUJO, 2004), a importância, em termos de biomassa, para a formação vegetal (MENEZES; ARAUJO, 2000), a quantificação dos nutrientes aportados no solo a partir da decomposição das folhas (CARVALHO et al., 2014), a anatomia foliar (DEFAVERI et al., 2015), a fisiologia (GESLLER et al., 2007) e a germinação de sementes (MENEZES et al., 2017).

A espécie *A. arenaria* influi diretamente no funcionamento da restinga e desempenha um importante papel nesse ambiente. Nas restinga as condições de temperatura, disponibilidade hídrica e salinidade são limitantes para as espécies e as mudanças no clima podem levar essas condições para um ponto ainda mais extremo de sobrevivência nesse ambiente, nesse sentido, estudos com *A. arenaria* são uma importante ferramenta pra a compreensão do comportamento dessa espécie e os desafios a se enfrentar com as mudanças climáticas.

6. REFERÊNCIAS

- ALLAKHVERDIEV, S.I.; KRESLAVSKI, V.D.; KLIMOV, V.V.; LOS, D.A.; CARPENTIER, R.; MOHANTY, P. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. **Photosynthesis Research**, v. 98, n. 1-3, p. 541-50, 2008.
- ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; COELHO FILHO, M.A.; MARIN, F.R. Measurements of net radiation absorbed by isolated acid lime trees (*Citrus latifolia* Tanaka). **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v.79, n. 5, p.699-703, 2004.
- ARAÚJO, D.S.D.; PEIXOTO, A.L. Renovação de uma comunidade vegetal de restinga após queimada. In: **CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA**. Rio de Janeiro: Anais da Academia Brasileira de Ciências, p. 1-17, 1977.
- ARAUJO, 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. (eds.). **Pesquisas de longa duração na Restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação**. São Carlos: Rima, p. 59-76, 2004.
- BADECK, F.W.; BONDEAU, A.; BÉOTTCHEK, K. Doktor, D.; Lucht, W.; Schaber, J.; Sitch, S. Responses of spring phenology to climate change. **New Phytologist**, v.162, n. 2, p.295-309, 2004.
- BILIBIO, C.; CARVALHO, J.A.C.; MARTINS, M.; REZENDE, F.C.; FREITAS, E.A.; GOMES, L.A.A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.7, p.730-735, 2010.
- BORJIGIDAI, A.; HIKOSAKA, K.; HIROSE, T.; HASEGAWA, T.; OKADA, M.; KOBAYASHI, K. Seasonal changes in temperature dependence of photosynthetic rate in rice under a free-air CO₂ enrichment. **Annals of Botany**, v. 97, n. 4, p. 549-557, 2006.

CARLYLE, C.N.; FRASER, L. H.; TURKINGTON, R. Response of grassland biomass production to simulated climate change and clipping along an elevation gradient. **Oecologia**, v, 174, n. 3, p. 1065-1073, 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.

CEPEMAR. **Plano de manejo do Parque Estadual de Itaúnas**. 2004. Disponível em: <http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp?pagina=16707> Acesso em: 11 jan. 2017.

CHANG, J.D.; MANTRIC, N.; SUN, B.; JIANG, L.; CHENE, P.; JIANG B.; JIANG Z.; ZHANG, J.; SHEN J.; LU H.; LIANG, Z. Effects of elevated CO₂ and temperature on *Gynostemma pentaphyllum* physiology and bioactive compounds. **Journal of Plant Physiology**, v. 196-197, p. 41-52, 2016.

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.

CHEN, L.S.; CHENG, L. Photosystem 2 is more tolerant to high temperature in apple (*Malus domestica* Borkh.) leaves than in fruit peel. **Photosynthetica**, v. 47, n. 1, p. 112-120, 2009.

CRAFTS-BRANDNER, S.J.; SALVUCCI, M.E. Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize, to heat stress. **Plant Physiology**, v. 129, n. 4, p. 1773–1780, 2002.

CRAWFORD, A.J.; MCLACHLAN, D.H.; HETHERINGTON, A.M.; FRANKLIN, K.A. High temperature exposure increases plant cooling capacity. **Current Biology**, v. 22, n. 10, p. 396–397, 2012.

CRIMMINS, T.M.; CRIMMINS, M.A.; BERTELSEN, C.D. Complex responses to climate drivers in onset of spring flowering across a semi-arid elevation gradient. **Journal of Ecology**, v. 98, p. 1042-1051, 2010.

DE BOECK, H.J.; LEMMENS, C.M.H.M, ZAVALLONI, B, ET AL. Biomass production in experimental grasslands of different species richness during three years of climate warming. **Biogeosciences**, v. 5, n. 2, p. 585-594, 2008.

DEFAVERI, A.C.A.; BARROS, C.F.; ARRUDA, R.C.O.; SIMAS, N.K.; SATO, A. *Allagoptera arenaria* (Arecaceae): leaf anatomy of a palm from the Brazilian shore. **Brittonia**, v. 67, p. 336-349, 2015.

DIAS, M.A.F.S. Efeito estufa e mudanças climáticas regionais. **Revista USP**, n.71, p. 44-51, 2006

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 305-311, 2007.

DILLEN, S.Y.; DE BEECK, M.O.; HUFKENS, K.; BUONANDUCI, M.; PHILLIPS, N. Seasonal patterns of foliar reflectance in relation to photosynthetic capacity and color index in two co-occurring tree species, *Quercus rubra* and *Betula papyrifera*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 160, p. 60-68, 2012.

DOUGHTY, C.E.; GOULDEN, M.L. Are tropical forests near a high temperature threshold ? **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. G1, p. 1-12, 2008.

ESTRELLA, N.; MENZEL, A. Responses of leaf colouring in four deciduous tree species to climate and weather in Germany. **Climate Research**, v. 32, n. 3, p. 253-267, 2006.

FLEXAS, J.; CARRIQUÍA, M.; COOPMANB, R.E.; GAGOC, J.; GALMÉSA, J.; MARTORELLA, S.; MORALES, F.; DIAZ-ESPEJOE, A. Stomatal and mesophyll conductances to CO₂ in different plantgroups: Underrated factors for predicting leaf photosynthesis responses to climate change ? **Plant Science**, v. 226, p. 41–48, 2014.

GESSLER, A.; NITSCHKE, R.; MATTOS, E.A.; ZALUAR, H.L.T.; SCARANO, F.R.; RENNENBERG, H.; LÜTTGE, U. Comparison of the performance of three different ecophysiological life forms in a sandy coastal resting ecosystem of SE-Brazil: a nodulated N₂-fixing C₃-shurb (*Andira legalis* (Vell.) Toledo, a CAM-shurb (*Clusia hilariana* Schldl.) and a tap root C₃-hemicryptophyte (*Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Ktze.). **Trees**, v. 22, p. 105-119, 2008.

GORDO, O.; SANZ, J.J. Phenology and climate change: A long-term study in a Mediterranean locality. **Oecologia**, v. 146, n. 3, p. 484-495, 2005.

GORDO, O.; SANZ, J.J. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. **Global Change Biology**, v. 16, n. 3, p. 1082-1106, 2010.

GRENHA, V.; MACEDO, M.V.; MONTEIRO, R.F. Predação de sementes de *Allagoptera arenaria* (Gomes) O'Kuntze (Arecaceae) por *Pachymerus nucleorum* Fabricius (Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 52, p. 50-56, 2008.

GRENHA, V.; MACEDO, M.V.; PIRES, A.S.; MONTEIRO, R.F. The role of *Cerradomys subflavus* (Rodentia, Cricetidae) as seed predator and disperser of the palm *Allagoptera arenaria*. **Mastozoología Neotropical**, v. 17, p. 61–68, 2010.

HAN, Q.; KAWASAKI, T.; NAKANO, T.; CHIBA, Y. Spatial and seasonal variability of temperature responses of biochemical photosynthesis parameters and leaf nitrogen content within a *Pinus densiflora* crown. **Tree Physiology**. 24:737-744. 2004.

HAN, Q.; KAWASAKI, T.; NAKANO, T.; CHIBA, Y. Spatial and seasonal variability of temperature responses of biochemical photosynthesis parameters and leaf nitrogen content within a *Pinus densiflora* crown. **Tree Physiology**, v. 24, n. 7, p. 737-744, 2004.

HUXMAN, T.E.; SMITH, M.D.; FAY, P.A.; KNAPP, A.K.; SHAW, M.R.; LOIK, M.E.; SMITH, S.D.; TISSUE, D.T.; ZAK, J.C.; WELTZIN, J.F.; POCKMAN, W.T.; SALA, O.E.; HADDAD, B.M.; HARTE, J.; KOCH, G.W.; SCHWINNING, S.; SMALL, E.E.; WILLIAMS, D.G. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. **Nature**, v. 429, n. 6992, p. 651-654, 2004.

IEMA. **Instituto Estadual de meio ambiente e recursos hídricos do Espírito Santo**. 2017, Disponível em: <http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp>. Acesso em: 10 outubro de 2017.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of

the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by T. F. STOCKER et al. Cambridge/New York: Cambridge University Press/IPCC, 2013.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J.; MASTRANDREA, M.D.; BILIR T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE, L.L. Cambridge/New York: Cambridge University Press/ IPCC, 2014.

KARDOL, P.; CAMPANY, C.E.; SOUZA, L.; NORBY, R.J.; WELTZIN, J.F.; CLASSEN, A.T. Climate change effects on plant biomass alter dominance patterns and community evenness in an experimental old-field ecosystem. **Global Change Biology**, v. 16, n. 10, p. 2676-2687, 2010.

KRAMER P.J.; BOYER J.S. **Water relations of Plants and Soils**. San Diego: Academic Press, 1995.

KRESLAVSKI, V.D.; LYUBIMOV, V.Y.; SHABNOVA, N.I.; BALAKHNINA, T.I.; KOSOBRYUKHOV, A.A. Heat-induced impairments and recovery of photosynthetic machinery in wheat seedlings. Role of light and prooxidant-antioxidant balance. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 15, n. 2, p. 115–122, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000.

LEITMAN, P.; HENDERSON, A.; NOBLICK, L.; MARTINS, R.C. **Arecaceae**. In: Lista de espécies da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015, Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB15662>. Acesso em: 10 out. 2017.

LI, L.; LI, X.L.; XU, X. W.; LIN, L.S.; ZENG, F.J. Effects of high temperature on the chlorophyll a fluorescence of *Alhagi sparsifolia* at the southern Taklamakan Desert. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, n. 2, p. 243–249, 2014.

LIMA, M.E.; CARVALHO, D.F.; SOUZA, A.P.; ROCHA, H.S.; GUERRA, J.G.M. Desempenho do cultivo da berinjela em plantio direto submetida a diferentes

lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.604-610, 2012.

LIN, Y.S.; MEDLYN, B.E.; DE KAUWE M.G.; ELLSWORTH, D.S. Biochemical photosynthetic responses to temperature: how do interspecific differences compare with seasonal shifts? **Tree Physiology**, v. 33, n. 8, p. 793–806. 2013.

LLOYD, J.; FARQUHAR, G.D. Effects of rising temperatures and [CO₂] on the physiology of tropical forest trees. **Biological sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1811-1817, 2008.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.R.; KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora brasileira: Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010.

LU, P.L.; YU, Q.; LIU, J.D.; HE, Q.T. Effects of changes in spring temperature on flowering dates of woody plants across China. **Botanical Studies**, v. 47, p. 153-161, 2006.

LÜTTGE, U.; SCARANO, F.R. Ecophysiology. **Revista Brasileira de Botânica** v. 27, p. 1-1, 2004.

MARCHIORETTO, M.S.; MAUHS, J.; BUDKE, J.C. Fenologia de espécies arbóreas zoocóricas em uma floresta psamófila no sul do Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 21, n. 1, p. 193-201, 2007.

MARENCO. R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Editora UFV, 2009.

MARENCO, J.A.; VALVERDE, M.C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4, **Revista Multiciências**, v.8, 2007.

MATHUR, S.; JAJOO, A.; MEHTA, P.; BHARTI, S. Analysis of elevated temperature-induced inhibition of photosystem II using chlorophyll a fluorescence induction kinetics in wheat leaves (*Triticum aestivum*). **Plant Biology**, v. 13, n. 1, p. 1-6, 2011.

MEDIAVILLA, S.; GONZÁLEZ-ZURDO, P.; BABIANO, J.; ESCUDERO, A. Responses of photosynthetic parameters to differences in winter temperatures

throughout a temperature gradient in two evergreen tree species. **European Journal of Forest Research**, v. 135, n. 5, p. 871-883, 2016.

MEDLYN, B.E.; DREYER, E.; ELLSWORTH, D.; FORSTREUTER, M.; HARLEY, P.C.; KIRSCHBAUM, M.U.F.; LE ROUX, X.; MONTPIED, P.; STRASSEMAYER, J.; WALCROFT, A.; WANG, K.; LOUSTAU, D. Temperature response of parameters of a biochemically based model of photosynthesis. II. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 9, p. 1167-1179, 2002.

MENEZES, L.F.T.; ARAUJO, D.S.D. Estrutura de duas formações vegetais do cordão externo da Restinga de Marambaia, RJ. **Acta botânica brasílica**, v. 13, n. 2, p. 223-235, 1999.

MENEZES, L.F.T.; ARAUJO, 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**, v. 60, n. 1, p. 147-157, 2000.

MENEZES, L.F.T.; ARAUJO, D.S.D. Regeneração e riqueza da formação arbustiva de Palmae em uma cronosequência pós fogo na Restinga de Marambaia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.18, n.4, p.761-771, 2004.

MENEZES, L.F.T.; ARAUJO, D.S.D. Formações vegetais da Restinga da Marambaia. In: MENEZES, L.F.T.; PEIXOTO, A.L.; ARAUJO, D.S.D. (orgs.), **História natural da Marambaia**. Seropédica: Ed. da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, p. 67-120, 2005.

MENEZES, L.F.T.; ARAUJO, 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 Botanica Brasilica**, v. 24, n. 3, p. 825-839, 2010.

MENEZES, L.F.T. DE; PUGNAIRE, F.I.; MATAALLANA, G.; NETTESHEIM, F.C.; CARVALHO, D.C. DE; MATTOS, E.A. DE. Disentangling plant establishment in sandy coastal systems: biotic and abiotic factors that determine *Allagoptera arenaria* (Arecaceae) germination. **Acta Botanica Brasilica**, versão on line, 2017.

MENEZES, L.F.T. **Caracterização de comunidades vegetais praianas da restinga de Marambaia-RJ**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1996.

MENZEL, A.; SPARKS, T.H.; ESTRELLA, N.; KOCH, E.; AASA, A.; AHAS, R.; ALM-KÜBLER, K.; BISSOLLI, P.; BRASLAVSKÁ, O.; BRIEDE, A.; CHMIELEWSKI, F.M.; CREPINSEK, Z.; CURNEL, Y.; DAHL, Å.; DEFILA, C.; DONNELLY, A.; FILELLA, Y.; JATCZAK, K.; MÅGE, F.; MESTRE, A.; NORDLI, Ø.; PEÑUELAS, J.; PIRINEN, P.; REMIŠOVÁ, V.; SCHEIFINGER, H.; STRIZ, M.; SUSNIK, A.; VLIET, A.J.H.V.; WIELGOLASKI, F.E.; ZACH, S.; ZUST, A. European phenological response to climate change matches the warming pattern. **Global Change Biology**, v.12, n. 10, p. 1969-1976, 2006.

MOHANTY, P.; KRESLAVSKI, V.D.; LOS, D.A.; KLIMOV, V.V.; CARPENTIER, R.; ALLAKHVERDIEV, S.I. Heat stress: susceptibility, recovery and regulation. *In*: EATON-RYE, J.J.; TRIPATHY, B.C. (Ed.). **Photosynthesis. Plastid biology, energy conversion and carbon assimilation**, Dordrecht: Springer, p. 251–274, 2012.

MONTEIRO, M.M.; GIARETTA, A.; PEREIRA, O.J; MENEZES, L.F.T. Composição e estrutura de uma restinga arbustiva aberta no norte do Espírito Santo e relações florísticas com formações similares no Sudeste do Brasil. **Rodriguésia**, v. 65, n. 1, p. 061-072, 2014.

MORAES, R.M. *Allagoptera* (Palmae). **Flora Neotropica**. v. 73, p. 1-34, 1996.

MORAES R.M.; MARTINS, R.C. *Allagoptera* in Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2017, Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15666>. Acesso em: 20 out. 2017.

MORELLATO, L.P.C.; LEITÃO-FILHO, H.F. Padrões de frutificação e dispersão na Serra do Japi. *In*: L.P.C. Morellato, (org.), **História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no Sudeste do Brasil**. Campinas: Editora da Unicamp/Fapesp, p. 112-140, 1992.

MORGAN, J.A.; PATAKI, D.E.; KÖRNER, C.; CLARK, H.; DEL GROSSO, S.J.; GRÜNZWEIG, J.M.; KNAPP, A.K.; MOSIER, A.R.; NEWTON, P.C.D.; NIKLAUS, P.A.; NIPPERT, J.B.; NOWAK, R.S.; PARTON, W.J.; POLLEY, H.W.; SHAW, M.R.

Water relations in 98 grassland and desert ecosystems exposed to elevated atmospheric CO₂. **Oecologia**, v.140, n. 1, p. 11-25, 2004.

NGUGI, M.R.; HUNT, M.A.; DOLEY, D.; RYAN, P.; DARTA, P. Selection of species and provenances for low-rainfall areas: physiological responses of *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus argophloia* to seasonal conditions in subtropical Queensland. **Forest Ecology and Management**, v.193, n.1-2, p.141-156, 2004.

NORBY, R.J.; LUO, Y. Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO₂ and global warming in a multi-factor world. **New Phytologist**, v. 162, n. 2, p. 281-293, 2004.

PANGLE, R.E.; HILL, J.P.; PLAUT, J.A.; YEPEZ, E. A.; ELLIOT, J.R.; GEHRES, N.; MCDOWELL, N.G.; POCKMAN, W.T. Methodology and performance of a rainfall manipulation experiment in a piñon–juniper woodland. **Ecosphere**, v. 3, n. 4, p. 28.

PARMESAN, C.; YOHE, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature**, v. 421, n. 6918, p. 37–42, 2003.

PIRANI, J.R.; SANCHEZ, M.; PEDRONI, F. Fenologia de uma comunidade arbórea em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 4, p. 1096-1109, 2009.

RAN1 - **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**, Base científica das mudanças climáticas, 2013. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol1.pdf. Acesso em: 21 ago. 2017.

ROCHA, D.B. Distribuição espacial da palmeira guriri (*Allagoptera arenaria*, Gomes) na praia de Iquipari, São João da Barra, RJ. In: **CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL**, Anais, 2009. p. 50-75. Disponível em: http://www.seb-ecologia.org.br/2009/resumos_ixceb/722.pdf. Acesso em: 10 outubro 2017.

RONCARATI, H.; MENEZES, L.F.T. Marambaia, Rio de Janeiro: origem e evolução. In: L.F.T. MENEZES, A. L. PEIXOTO; D.S.D. ARAUJO, (orgs.). **História Natural da Marambaia**, Seropédica: Editora da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, p.15-38, 2005.

ROSENZWEIG, C.; KAROLY, D.; VICARELLI, M.; NEOFOTIS, P.; WU, Q.; CASASSA, G.; MENZEL, A.; ROOT, T.L.; ESTRELLA, N.; SEGUIN, B.; TRYJANOWSKI, P.; LIU, C.; RAWLINS, S.; IMESON, A. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. **Nature**, v. 435, n. 7193, p. 353-357, 2008.

RUSTAD, L.E.; CAMPBELL, J.L.; MARION, G.M.; NORBY, R.; MITCHELL, M.; HARTLEY, A.; CORNELISSEN, J.; GUREVITCH, J. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. **Oecologia**, v. 126, n. 4, p. 543–562, 2001.

SAGE, R.F.; WAY, D.A.; KUBIEN, D.S. Rubisco, Rubisco activase, and global climate change. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 7, p. 1581-1595. 2008.

SAGE, R.F.; KUBIEN, D.S. The Temperature Response of C3 and C4 Photosynthesis. **Plant, Cell and Environment**, v. 30, p. 1086-1106, 2007.

SANTOS, C.M.; GONÇALVES, E.R.; ENDRES, L.; GOMES, T.C.A.; JADOSKI, C. J.; NASCIMENTO, L.A.; SANTOS, E.D. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, p.95-102, 2010.

SANTOS, C.R.; MEDEIROS, J.D.A. A ocupação humana das áreas de preservação permanente, vegetação fixadoras de dunas de Morro das Pedras, Santa Catarina-SC, Brasil. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 5, p. 22-41, 2003.

SCARANO, F.R.; CIRNE, P.; NASCIMENTO, M.T.; SAMPAIO, M.C.; VILLELA, D.; 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. (Eds.), **Pesquisas de longa duração na Restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação**. São Carlos: Editora Rima, p. 77-97, 2004.

SCARANO, F.R. Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rain forest. **Annals of Botany**, v. 90, n. 4, p. 517-524, 2002.

SCHEFFERS, B.R.; MEESTER, L.D.; BRIDGE, T.C.L.; HOFFMANN, A.A.; PANDOLFI, J.M.; CORLETT, R.T.; BUTCHART, S.H.M.; PEARCE-KELLY, P.; KOVACS, K.M.; DUDGEON, D.; PACIFICI, M.; RONDININI, C.; FODEN, W.B.; MARTIN, T.G.; MORA, C.; BICKFORD, D.; WATSONSCHUUR, J.E.M. The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. **Science**, v, 354, n. 6313, aaf7671, 2016

SHARKEY, T.D. Effects of moderate heat stress on photosynthesis: importance of thylakoid reactions, Rubisco deactivation, reactive oxygen species, and thermotolerance provided by isoprene. **Plant, Cell & Environment**, v. 28, n. 3, p. 269–277, 2005.

SHARMA, D.K.; FERNANDEZ, J.O.; ROSENQVIST, E.; OTTOSEN, C.O.; ANDERSEN, S.B. Genotypic response of detached leaves versus intact plants for chlorophyll fluorescence parameters under high temperature stress in wheat. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 8, p. 576-586, 2014.

SHAVER, G.R.; CANADELL J.; CHAPIN, F.S.; GUREVITCH, J.; HARTE, J.; HENRY, G.; INESON, P.; JONASSON, S.; MELILLO, J.; PITELKA, L.; RUSTAD, L. Global warming and terrestrial ecosystems: a conceptual framework for analysis. **BioScience**, v. 50, n. 10, p. 871-882, 2000.

SHERRY, R.A.; WENG, E.; ARNONE J.A.III.; JOHNSON, D. W.; SCHIMEL, D. S.; VERBURG, P. S.; WALLACE, L. L.; LUO, Y. Lagged effects of experimental warming and doubled precipitation on annual and seasonal aboveground biomass production in a tallgrass prairie. **Global Change Biology**, v. 14, n. 12, p. 2923–2926, 2008.

SILVA, A.C.; LEONEL, S.; SOUZA, A.P.; DOMINGOS, J.R.; DUCATTI, C. Trocas gasosas e ciclo fotossintético da figueira ‘Roxo de Valinhos’. **Ciência Rural**, v.40, n.6, p.1270-1276, 2010.

SILVA, S.M.; BRITEZ, R.M. A vegetação da planície costeira. In: MARQUES, M. C. U; BRITEZ, R. M. (orgs.). **História natural e conservação da Ilha do Mel**. Curitiba: Ed. da Universidade Federal do Paraná, 2005. p. 49-84.

SPENCE, L.A.; LIANCOURT, P.; BOLDGIV B.; PETRAITIS, P.S.; CASPER B.B. Short-term manipulation of precipitation in Mongolian steppe shows vegetation

influenced more by timing than amount of rainfall. **Journal of Vegetation Science**, v. 27, p. 249-258, 2016.

STEFANOV, D.; PETKOVA, V.; DENEV, I.D. Screening for heat tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines and cultivars using *JIP*-test. **Scientia Horticulturae**, v. 128, n. 1, p. 1-6, 2011.

STRASSER, R.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *In*: YUNUS, M.; PATHRE, U.; MOHANTY P. (Ed.). **Probing photosynthesis: Mechanisms, regulation and adaptation**. London: CRC Press, p. 445-483, 2000.

STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, D.A. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. Chlorophyll a Fluorescence. *In*: PAPAGEORGIOU, G.C.; GOVINDJEE (Ed.). **Chlorophyll a fluorescence: A signature of photosynthesis**. Dordrecht: Springer, p. 321-362, 2004.

STRAUSS, A.J.; KRUGER, G.H.J.; STRASSER, R.J.; VAN HEERDEN, P.D.R. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, n. 2, p. 147-157, 2006.

SULLIVAN, A.P.; HOLDEN, A.S.; PATTERSON, L.A.; MCMEEKING, G.R.; KREIDENWEIS, S.M.; MALM, W.C; HAO, W.M.; WOLD, C.E.; COLLETT JR, J.L. A method for smoke marker measurements and its potential application for determining the contribution of biomass burning from wildfires and prescribed fires to ambient PM_{2.5} organic carbon, **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. D22, 2008.

SYLVESTRE, L.S; LEITE, C.O; TRIANI, L. Estudo do desenvolvimento do fruto de *Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Kuntze. **Acta Botânica Brasilica**, v. 2, n. 1, p. 183-191, 1989.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TÓTH, S.Z.; SCHANSKER, G.; GARAB, G.; STRASSER, R.J. Photosynthetic electron transport activity in heat-treated barley leaves: the role of internal alternative electron donors to photosystem II. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1767, n. 4, p. 295-305, 2007.

WAN, S.Q.; HUI, D.F.; WALLACE, L.; LUO, Y.Q. Direct and indirect effects of experimental warming on ecosystem carbon processes in a tallgrass prairie. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 19, GB2014, 2005.

WILLIAMS, T.A.; ABBERTON, M.T. Earlier flowering between 1962 and 2002 in agricultural varieties of white clover. **Oecologia**, v. 138, n. 1, p. 122-126, 2004.

WOLKOVICH, A.M.; COOK, B.I.; ALLEN, J.M.; CRIMMINS, T.M.; BETANCOURT, J.L.; TRAVERS, S.E.; PAU, S.; REGETZ, J.; DAVIES, T.J.; KRAFT, N.J.B.; AULT, T.R.; BOLMGREN, K.; MAZER, S.J.; MCCABE, G.J.; MCGILL, B.J.; PARMESAN, C.; SALAMIN, N.; SCHWARTZ, M.D.; CLELAND, E.E. Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. **Nature**, v. 485, n. 7399, p. 494–497, 2012.

ZALUAR, H.T.; SCARANO, F.R. Facilitação em restingas de moitas: um século de buscas por espécies focais. In: Esteves, F.A.; Lacerda, L.D. (orgs.). **Ecologia de restingas e lagoas costeiras**. Macaé: NUPEM/UFRJ, p. 3-23, 2000.

ZUSHI, K.; KAJIWARA, S.; MATSUZOE, N. Chlorophyll a fluorescence OJIP transient as a tool to characterize and evaluate response to heat and chilling stress in tomato leaf and fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 148, p. 39-46, 2012.

**CAPITULO 1 – EFEITOS COMBINADOS DO CLIMA NA PRODUÇÃO DE
BIOMASSA E FENOLOGIA REPRODUTIVA DE *Allagoptera arenaria*
(ARECACEAE) EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS GLOBAIS**

Autores: Liliane Baldan Zani^{1*} • Antelmo Ralph Falqueto² • Luis Fernando Tavares de Menezes²

⁽¹⁾ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Departamento de Ciências Biológicas, Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, CEP 29075-910, Vitória, ES, Brasil.

⁽²⁾ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, CEP 29932-900, São Mateus, ES, Brasil.

*Autor para correspondência: lilianebzani@gmail.com

RESUMO

Há evidências crescentes de que o clima global está mudando e uma preocupação correspondente às consequências que isso trará para os ecossistemas naturais. Nesse estudo foram utilizadas câmaras topo aberto modificadas (OTC's) e calhas coletoras de chuva para reproduzir, em campo, aumentos de temperatura e volume pluviométrico. O objetivo foi avaliar as mudanças microclimáticas no entorno das copas dos arbustos de *Allagoptera arenaria*, a variação da produção de biomassa aérea, a fenologia reprodutiva e verificar como essa espécie respondeu entre os eventos de crescimento e reprodução. Em ambiente natural de restinga foram selecionados 40 arbustos de *A. arenaria* distribuídos em quatro tratamentos, ambiente aberto-controle (C), aumento do volume pluviométrico em 25 % (P), aumento de temperatura em 2 °C (T) e aumento de temperatura em 2 °C e volume pluviométrico em 25 % (TP). Os resultados demonstraram que as OTC's e as calhas foram eficazes para simular os efeitos de mudanças climáticas propostos. Os valores da variação da biomassa aérea foram maiores para o tratamento TP quando comparados ao tratamento T que, por sua vez, apresentou mais ciclos reprodutivos ao longo do período avaliado. Dessa forma foi possível verificar duas vertentes distintas entre os resultados no sentido da produção de biomassa e de produção de estruturas reprodutivas. Possíveis aumentos de temperatura futuros poderão encurtar o ciclo reprodutivo de *A. arenaria* na tentativa de garantir o sucesso adaptativo e evolutivo dessa espécie. Nas restinga as condições de temperatura, disponibilidade hídrica e salinidade já são limitantes para as espécies e aumentos de temperatura levaria essas condições para um ponto ainda mais extremo de sobrevivência nesse ambiente.

Palavras-chave: Biomassa aérea • fenologia reprodutiva • mudanças climáticas • OTC's • restinga •

ABSTRACT

There is growing evidence that the global climate is changing and a concern about the consequences this will bring to natural ecosystems. In this study, modified open top chambers (OTC's) and rain gutters were used to reproduce, in the field, temperature and pluviometric volume increases. The aim of this study was to evaluate the microclimatic changes around the canopy of *Allagoptera arenaria*, the variation of aerial biomass production, reproductive phenology and to verify how this species responded in the allocation between growth and reproduction. In a natural sandbank environment, 40 *A. arenaria* shrubs were selected in four treatments, open-control environment (C), 25 % (P) rainfall increase, temperature increase at 2 °C (T) and increment of temperature and 2 °C and volume of rain and 25 % (TP). The results showed that OTC's and gutters were effective in simulating the effects of proposed climate changes. The values of aerial biomass variation were higher for the TP treatment when compared to the T treatment, which, in turn, presented more reproductive cycles throughout the evaluated period. In this way it was possible to verify two different aspects between the results in the feeling of biomass production and reproductive structures. Possible future temperature increases may shorten the reproductive cycle of *A. arenaria* in an attempt to guarantee the adaptive and evolutionary success of this species. In the restinga the conditions of temperature, water availability and salinity are already limiting to the species and temperature increases would take these conditions to an even more extreme point of survival in this environment.

Keywords: Aerial biomass • climate change • OTC's • phenology • restinga •

1. INTRODUÇÃO

Há evidências crescentes de que o clima global está mudando e uma preocupação correspondente às consequências que isso trará para os ecossistemas naturais (HOF et al., 2011; IPCC, 2014; LACERDA et al., 2015). Com o aumento dos níveis de dióxido de carbono na atmosfera, as temperaturas médias mundiais aumentarão em cerca de 2 a 5 °C durante o próximo século, com alterações concomitantes de outras variáveis ambientais, como padrões de chuva e umidade (IPCC, 2014). Alguns dos principais impactos dessas mudanças já foram relatados na fenologia das plantas (FANG; CHEN, 2015; RAI, 2015; KEYZER et al., 2017; MENDOZA et al., 2017; PREVÉY et al., 2017), levando as espécies a modificarem seu ciclo de vida (PARMESAN; YOHE, 2003; MENZEL et al., 2006; ROSENZWEIG et al., 2008; GORDO; SANZ, 2010; WOLKOVICH et al., 2012) e na produção de biomassa vegetal (KARDOL et al., 2010), afetando a disponibilidade de recursos e a eficiência do uso de recursos potencialmente limitantes ao crescimento (DE VALPINE; HARTE, 2001).

De fato, a temperatura é um dos fatores determinantes na fenologia das plantas (ESTRELLA; MENZEL, 2006; LU et al., 2006; MENZEL et al., 2006) e associado a outras variáveis ambientais, como a precipitação, podem ter um papel fundamental em algumas comunidades vegetais (WILLIAMS; ABBERTON, 2004; GORDO; SANZ, 2005; CRIMMINS; CRIMMINS, 2008). Em alguns trabalhos verificou-se que temperaturas mais elevadas aceleraram o ciclo de vida das espécies estudadas (SAXE et al., 2001; WALTHER et al., 2002; BADECK et al., 2004; SOLOMON et al., 2007) e as mudanças nos padrões de precipitação modificaram o ciclo das atividades fenológicas (BADECK et al., 2004; GORDO; SANZ, 2010).

Alterações de temperatura e precipitação também influenciam a produção de biomassa vegetal em ecossistemas terrestres (KARDOL, 2010). O aquecimento tem impactos sobre a biomassa vegetal (SHAVER et al., 2000; RUSTAD et al., 2001), aumentando (RUSTAD et al., 2001; WAN et al., 2005; SULLIVAN et al., 2008), ou diminuindo sua produção com o aumento de temperatura (DE BOECK et al., 2008; SHERRY et al., 2008; CARLYLE et al., 2014). Contudo, alguns estudos têm demonstrado que a produção de biomassa vegetal responde positivamente ao aumento de precipitação (HUXMAN et al., 2004; SPENCE et al., 2016). Embora

crecente o número de trabalhos que evidenciam os efeitos das mudanças climáticas isoladamente, pouco se sabe como esses fatores interagem entre si para influenciar a produção de biomassa e fenologia das plantas (BADECK et al., 2004; KARDOL, et al., 2010; RAI, 2015).

Nas restingas, ecossistema associado à Mata Atlântica, *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze é uma palmeira que implica diretamente no funcionamento desse ambiente, sendo capaz de colonizar áreas abertas com altas taxas de recrutamento (ZALUAR; SCARANO, 2000; SCARANO et al., 2004; CARVALHO et al., 2014; MENEZES et al., 2017). Essa espécie floresce e produz frutos o ano todo e, a produção de biomassa aérea nesses indivíduos varia com a topografia da área, flutuação do lençol freático e distância do mar (MENEZES; ARAÚJO, 2000). Entretanto, os mecanismos climáticos que direcionam a fenologia e a produção de biomassa de *A. arenaria* ainda não foram elucidados.

Neste trabalho foi verificada as variações de biomassa aérea e padrões na fenologia reprodutiva de indivíduos de *A. arenaria* adultos em resposta ao aumento de temperatura e volume pluviométrico e analisado como os efeitos isolados e combinados desses fatores climáticos influenciam na produção de biomassa aérea e reprodução. Para isso, utilizou-se câmaras de topo aberto (*open top chambers* - OTC's) adaptadas e calhas coletoras de chuva em ambiente de restinga a fim de conduzir variações microclimáticas em campo e para a obtenção de respostas às mudanças climáticas, incluindo as flutuações diárias e sazonais do clima (PRITCHARD; AMTHOR, 2005; LESSIN; GHINI, 2009).

Prevê-se que as mudanças climáticas produzam novas combinações nos padrões de precipitação, temperatura e suas flutuações (IPCC, 2014). Compreender os efeitos interativos do clima que direcionam o desempenho das espécies e seus mecanismos e processos subjacentes é importante para prever as respostas destas às mudanças climáticas (MEINERİ et al., 2015; PARMESAN; HANLEY, 2015; MORAN et al., 2016). Quais seriam os efeitos das mudanças climáticas sobre a produção de biomassa e fenologia reprodutiva de *A. arenaria* e qual a importância do aumento de temperatura e precipitação na condução dessas respostas? A hipótese é de que a *A. arenaria* se beneficiaria dos efeitos combinados de maior temperatura e volume pluviométrico para investir na produção de biomassa aérea e que, o aumento de temperatura isoladamente, aceleraria o ciclo de vida dessa espécie.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área e espécie de estudo

O experimento foi desenvolvido no Parque Estadual de Itaúnas, norte do estado do Espírito Santo - Brasil, entre as coordenadas geográficas 18°24'21" S e 39°42'8" W em uma formação arbustiva aberta não inundada de restinga (MONTEIRO et al., 2014). O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, apresentando clima tropical úmido com precipitação média anual em torno de 1100 mm, temperatura média anual de 23,8 °C e umidade relativa média de 84 %. As maiores taxas de precipitação e temperatura ocorrem no verão com uma média de 185 mm de chuva nesse período e as menores inverno com média de 50 mm de chuva. A temperatura média no verão atingi cerca de 26 °C e no inverno 21 °C (CEPEMAR, 2004).

A palmeira *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze (Arecaceae) distribui-se na planície litorânea do Brasil, desde o Estado do Sergipe até o Paraná, passando por São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Bahia (MORAES; MARTINS, 2017). Apresenta, em média, 1,5 m de altura, 2 m de diâmetro de copa e caule subterrâneo resistente ao fogo. A floração e frutificação ocorrem várias vezes ao longo do ano, com mais intensidade de junho e julho (SYLVESTRE et al., 1989). As flores surgem agrupadas como uma espiga, as femininas se inserem na base e as masculinas logo acima. As flores masculinas abrem-se antes das femininas. Os frutos, geralmente com uma semente, apresentam coloração amarelo alaranjada quando maduros, contendo polpa muito aromática e adocicada (LORENZI et al., 2010). As sementes germinam entre 60 e 120 dias e a frutificação ocorre no 4º ano de desenvolvimento da planta.

2.2. Delineamento experimental

Um total de 40 indivíduos de *A. arenaria* com tamanhos de aproximadamente 2,0 m de diâmetro de copa e 1,20 m de altura, distribuídos aleatoriamente em uma mesma região foram selecionados para o experimento em junho de 2015. Foram construídas câmaras de topo aberto (*open top chambers* - OTC's) sem injeção de CO₂, modificada de Pritchard e Amthor (2005) para simular os efeitos de aumento de temperatura do ar em 2 °C em relação ao ambiente externo. As OTC's foram construídas em formato circular com 2,5 m de diâmetro da base, 1,0 m de diâmetro no topo e 1,40 m de altura utilizando uma estrutura metálica de ferro-vergalhão de

5/16", envolta por cobertura plástica transparente do tipo PVC (Polyvinyl chloride) de 0,20 mm de espessura. As OTC's foram mantidas elevadas do solo em 5 cm de altura para a circulação de potenciais animais polinizadores e dispersores de frutos.

Para a simulação do aumento do volume pluviométrico foram utilizadas calhas coletoras de chuva de 244,0 cm de comprimento por 50,0 cm de largura, direcionadas para a bases dos indivíduos de *A. arenaria* o que correspondeu a um acréscimo de 25 % do volume de chuva. O aumento do volume pluviométrico foi simulado através do cálculo envolvendo área de coleta de chuva da superfície da calha, uma área plana de 1,46 m². O experimento foi instalado seguindo delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro tratamentos contendo dez repetições cada: sem OTC e calha (controle, C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) (Figura 1).

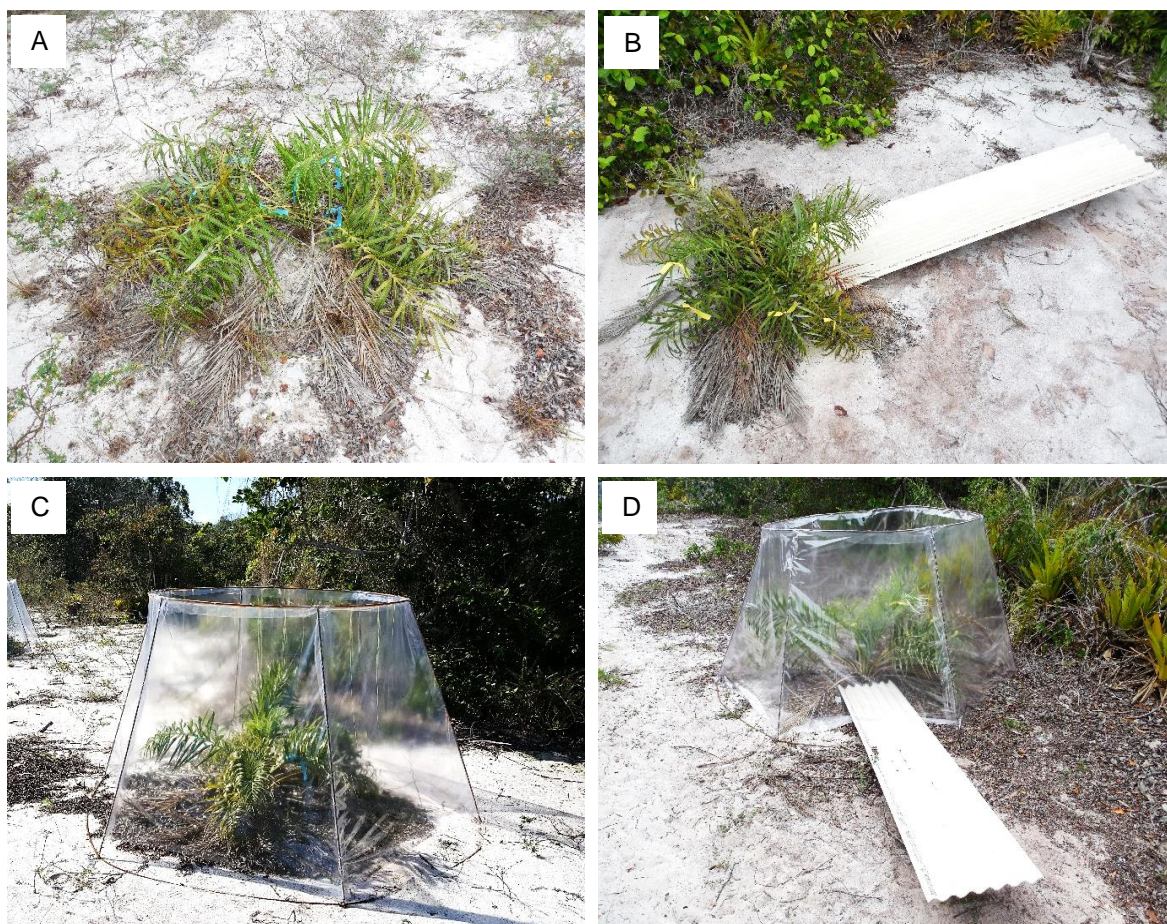


Figura 1: Arbustos de *Allagoptera arenaria* submetidos aos tratamentos. A: Tratamento C, controle-ambiente aberto. B: Tratamento P, aumento do volume de chuva (25 %). C: Tratamento T, incremento de temperatura (2 °C). D: Tratamento TP, incremento de temperatura (2 °C) e volume de chuva (25 %). Fonte: ZANI, L.B. (2017).

2.3. Monitoramento das variáveis ambientais

A temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) foram mensurados a partir de termômetro digital Multi-Function Environment Meter 41N1 as 12:00 horas em agosto/2016. As medidas foram realizadas a 0,50 m do solo na região central da parte aérea dos indivíduos de *A. arenaria* para todos os tratamentos a fim de comparar as temperaturas e umidades relativas dentro e fora das OTC's. A variação diária de temperatura e umidade relativa do ar foi monitorada das 8:00 horas as 16:00 horas em outubro/2016 por meio de 20 dispositivos do tipo *data logger* externo do modelo HOBO U12 (Onest® HOBO data loggers, Bourne, MA, USA). Os dispositivos foram dispostos abaixo das copas de *A. arenaria* em todos os tratamentos, sendo utilizado 5 indivíduos por tratamento.

Foi elaborado diagrama ombrotérmico com dados de temperatura e precipitação referente ao período de janeiro/2015 a dezembro/2016 para região de estudo. Os dados foram gerados por meio do banco de dados climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017). Os períodos secos foram destacados no gráfico e corresponderam aos meses em que a precipitação foi inferior ao dobro da temperatura média do ar.

2.4. Variação da biomassa aérea

A variação da biomassa aérea foi calculada utilizando o dado de diâmetro da copa de *A. arenaria* amostrados inicialmente em junho/2015 e em novembro/2016 para cada tratamento. A biomassa foi determinada utilizando-se a seguinte fórmula estabelecida por Hay e outros (1982): $y = 4,35e^{2,82x}$. Sendo y a biomassa expressa em gramas, e a constante neperiana e x o maior valor do eixo da copa de *A. arenaria*. A variação da biomassa foi determinada considerando a diferença entre a biomassa final (novembro/2016) e a biomassa inicial (junho/2015).

2.5. Fenologia reprodutiva

Foram realizadas observações mensais durante o período de 18 meses entre junho/2015 a novembro/2016 para o acompanhamento fenológico reprodutivo dos indivíduos de *A. arenaria* em cada tratamento. Foram consideradas as fenofases floração (presença de inflorescências com flores em antese) e frutificação (presença de infrutescências verdes e/ou maduras). Para estimar o percentual de intensidade das fenofases para cada tratamento foi utilizado o percentual de Intensidade de Fournier (1974), a partir de uma escala semi-quantitativa de 0 a 4

com intervalos de 25 %. (MORELLATO et al., 2010). Para determinar a porcentagem de indivíduos amostrados que está manifestando determinado evento fenológico foi calculado o Índice de Atividade proposto por Bencke e Morellato (2002). O Índice de Atividade foi usado também para estimar a sincronia entre os indivíduos amostrados (FOURNIER, 1974), avaliando o número de indivíduos que estava manifestando a fenofase ao mesmo tempo e para confecção dos histogramas circulares.

2.6. Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas a partir do programa Infostat (versão estudante). Foi utilizado o teste de Shapiro-Wilks para checar a distribuição normal das médias. Os dados de biomassa aérea foram normalizados aplicando-se logaritmo natural para melhor aproximação. Para comparar as médias obtidas nas análises das variáveis climáticas e variação da biomassa aérea foi aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$). E para comparar as médias obtidas das análises do número de estruturas fenológicas (inflorescências e infrutescências) observadas por mês e da frequência de indivíduos manifestando a evento fenológico por mês foi aplicado o teste de Duncan ($p < 0,05$). Os dados foram expressos em média \pm erro padrão.

Para a análise fenológica foi aplicada estatística circular segundo Zar (1996), amplamente utilizada em estudos fenológicos (MORELLATO et al., 2010). O período avaliado foi representado por um círculo de 360 ° de origem arbitrária, iniciando com o mês de junho/2015. Os meses foram convertidos em ângulos sendo que cada mês compreendeu o intervalo de 20 °. Foi calculado o ângulo médio (μ); o comprimento do vetor médio (r) que expressa a medida da concentração de indivíduos em torno do ângulo médio (valores entre 0 e 1) e, a significância do ângulo médio verificada pelo teste de Rayleigh (Z). As fenofases que apresentaram ângulo médio significativo ($p < 0,01$) foram convertidas em data média, ou seja, data de pico de ocorrência da fenofase durante o período observada para *A. arenaria* em cada tratamento. Para testar a ocorrência de padrão sazonal das fenofases foi considerado a significância do angulo médio (μ) por meio do teste de Rayleigh (Z) sendo o grau de sazonalidade representado pelo comprimento do vetor (r). O vetor r varia de 0 (quando os ângulos ou as datas máximas são uniformemente distribuídas ao longo do ano) a 1 (quando os ângulos ou as datas

máximas são concentradas em uma única data média ou ângulo médio) (MORELLATO et al., 2000). As análises de distribuição circular foram obtidas pela versão demo do programa ORIANA 4.0 (KOVACH, 2009).

3. RESULTADOS

3.1 Dados climáticos e variáveis ambientais

Durante o período experimental, a precipitação registrada para a região foi de 797,3 mm total anual em 2015 e 822,9 mm em 2016. Já temperatura média variou de 23 a 28 °C durante os anos de 2015 e 2016. Os períodos secos, em que a precipitação foi inferior ao dobro da temperatura média, foram observados, em 2015 para os meses de julho e de setembro a dezembro e, em 2016 para os meses de fevereiro, abril, maio, agosto e setembro (Figura 2).

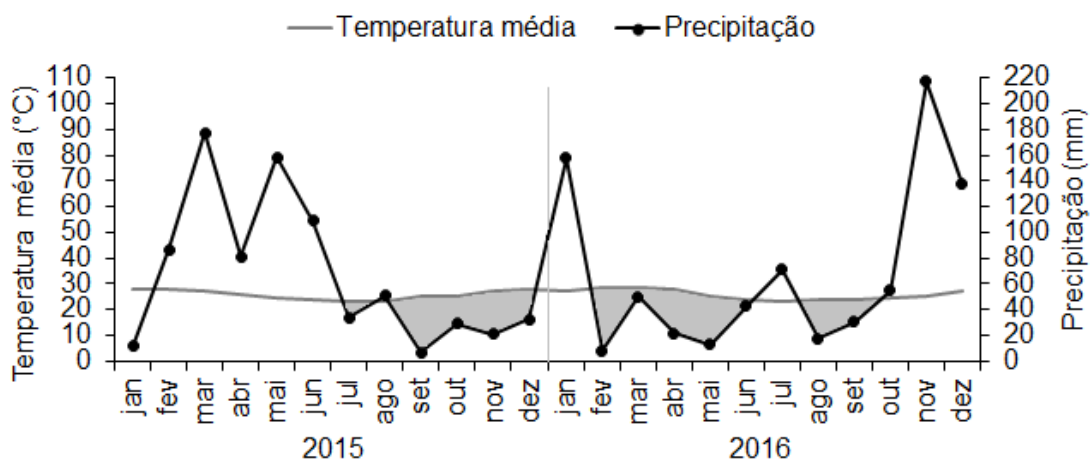


Figura 2: Diagrama ombrotérmico referente ao período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016 para região norte do Espírito Santo. A região destacada refere-se aos períodos secos ($P < 2T$).

A temperatura média do ar às 12:00 horas, encontrada próxima as copas dos indivíduos de *A. arenaria*, foi significativamente maior para os tratamentos T (33,6 °C) e TP (33,5 °C), quando comparado aos tratamentos C (31,6 °C) e P (30,9 °C), refletindo o aumento de temperatura de, aproximadamente 2 °C, dentro das OTC's (Figura 3). Já a umidade relativa do ar foi significativamente menor para os tratamentos T (38,7 %) e TP (39,4 %), quando comparados ao tratamento P (42,9 %). O tratamento C (41,6 %) não diferiu significativamente dos demais tratamentos (Figura 3).

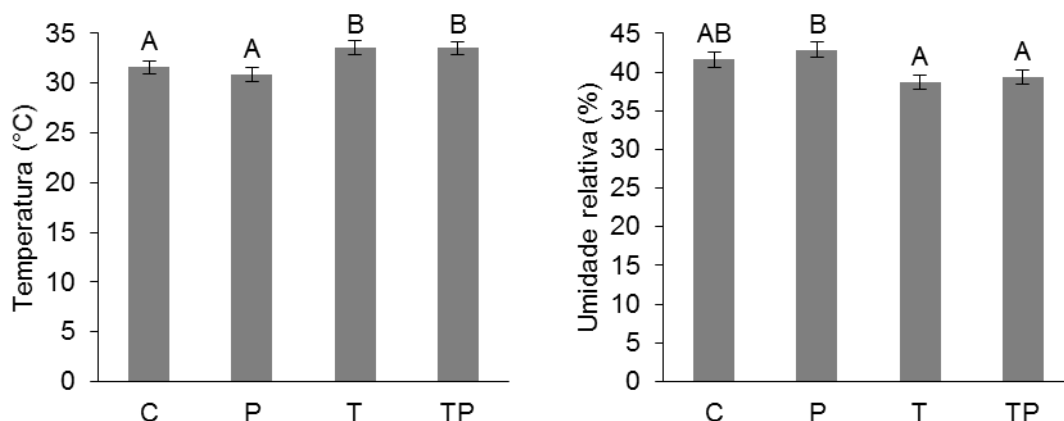


Figura 3. Temperatura e umidade relativa do ar sob as copas de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) avaliado em agosto/2016 às 12:00 horas.

Considerando a variação diária da temperatura e umidade relativa do ar abaixo das copas de *A. arenaria* foi possível observar que no período das 11:00 as 13:00 horas foram encontrados os maiores valores de temperatura e os menores valores de umidade relativa do ar para os tratamentos C, P, T e TP (Figura 4).

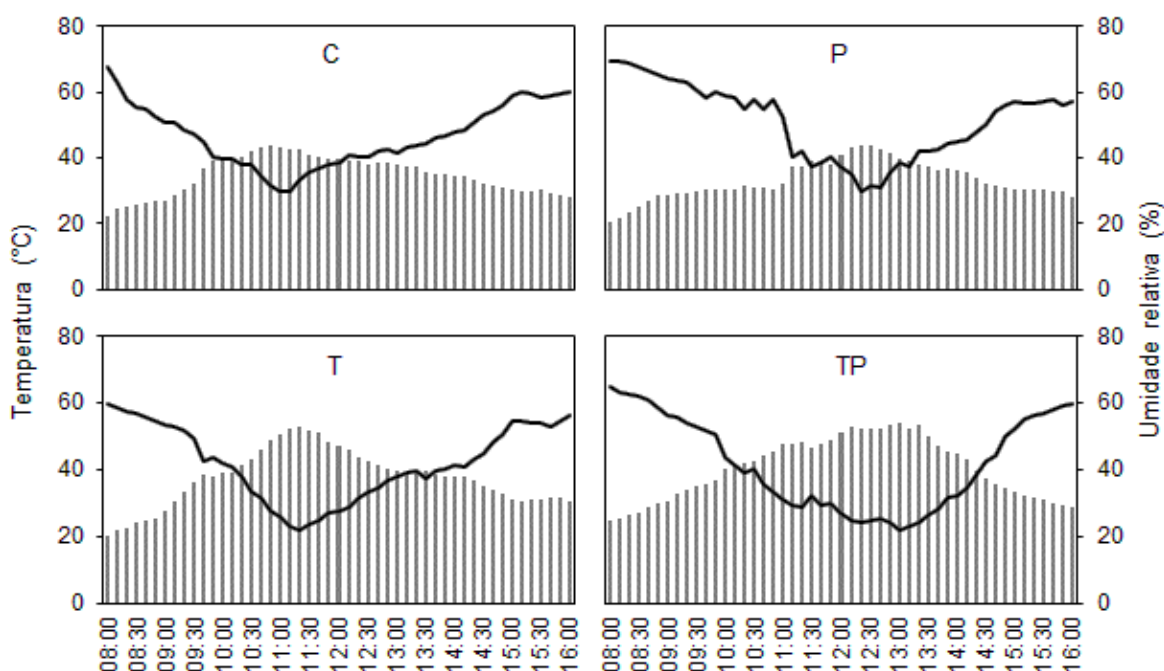


Figura 4: Variação diária de temperatura e umidade relativa do ar abaixo da copa de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos: sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) das 08:00 as 16:00 horas em outubro/2016.

3.2 Biomassa aérea

O valor da variação da biomassa aérea no período de junho/2015 a novembro/2016 foi significativamente maior para os indivíduos de *A. arenaria* submetidos ao tratamento TP (6,77 g) quando comparados os indivíduos do tratamento T (5,32 g). Os demais tratamentos, C (5,49 g) e P (5,71 g) não

apresentaram diferenças significativas nos valores da variação de biomassa aérea para o período estudado (Figura 5).

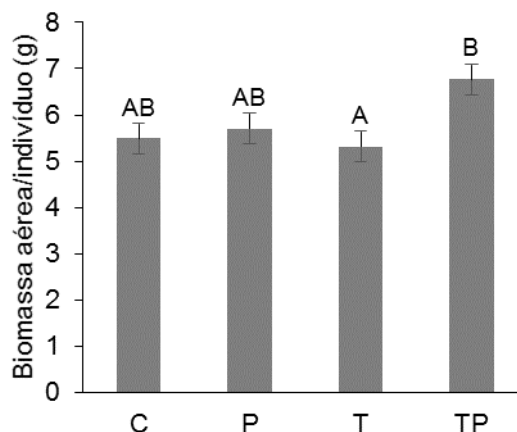


Figura 5: Variação da biomassa aérea/indivíduo avaliada no período de junho/2015 a novembro/2016 nos indivíduos de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP).

3.3 Fenologia reprodutiva

A ocorrência dos fenofases floração e frutificação dos indivíduos de *A. arenaria* submetidas aos tratamentos C, P, T e TP registradas durante o período de junho/2015 a novembro/2016 apresentou um padrão subanual com os eventos fenológicos ocorrendo em mais de um ciclo por ano. A duração das fenofases foi intermediária variando de 5 a 20 semanas, contudo, foi possível registrar menor duração dos ciclos fenológico nos indivíduos de *A. arenaria* no tratamento T, quando comparado aos demais tratamentos. A sincronia da floração foi baixa sendo observado de 20 % a 40 % dos indivíduos amostrados nessa fenofase ao mesmo tempo e a frutificação não apresentou sincronia, sendo possível observar apenas 10 % dos indivíduos de *A. arenaria* nessa fase ao mesmo tempo para todos os tratamentos.

A intensidade das fenofases obtidas pelo Índice de Fournier para o evento de floração dos indivíduos de *A. arenaria* ocorreu em fevereiro/2016 para o tratamento C, em abril/2016 para P e T e em setembro/2016 para TP. Para os eventos de frutificação os picos de atividades foram entre fevereiro a abril/2016, para os indivíduos no tratamento C, em maio/2016 para P, em novembro/2015 para T e em setembro/2015 para TP.

No tratamento T, os indivíduos de *A. arenaria* apresentaram o maior valor significativo do número de inflorescências e infrutescências médias produzidas por mês em comparação aos tratamentos C e TP, não diferindo significativamente do

tratamento P (Tabela 1). A frequência média de indivíduos de *A. arenaria* observadas nas fenofases floração e frutificação por mês apresentou maior valor significativo para o tratamento T em comparação aos tratamentos C e TP e não diferiu significativamente de P (Tabela 1).

Tabela 1: Número de estruturas e frequência das fenofases observadas por mês para floração e frutificação dos indivíduos de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) no período de junho/2015 a novembro/2016.

	Floração			
	C	P	T	TP
Números de inflorescências/mês	0,4 ± 0,2 ^A	1,1 ± 0,2 ^{BC}	1,3 ± 0,2 ^C	0,5 ± 0,2 ^{AB}
Frequência (%)/mês	3,3 ± 2,0 ^A	8,9 ± 2,0 ^{AB}	10,6 ± 2,0 ^B	4,4 ± 2,0 ^A
	Frutificação			
	C	P	T	TP
Número de infrutescências/mês	0,4 ± 0,2 ^A	0,7 ± 0,2 ^{AB}	1,1 ± 0,2 ^B	0,6 ± 0,2 ^A
Frequência (%)/mês	2,8 ± 1,6 ^A	6,7 ± 1,6 ^{AB}	10,6 ± 1,6 ^B	5,0 ± 1,6 ^A

Letras iguais entre os tratamentos não diferiram significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A análise circular dos eventos fenológicos registraram o índice de atividade das fenofases floração e frutificação ao longo do período avaliado e as setas indicaram os ângulos médios de ocorrência da fenofase (Figura 6). O maior número de observações das fenofases floração e frutificação, no período avaliado, ocorreram para o tratamento T. O teste de Rayleigh foi significativo para todos os tratamentos na fenofase frutificação e para os tratamentos C, T e TP na fenofase floração não sendo significativo para o tratamento P nessa fenofase. Sendo o teste de Rayleigh significativo ($p > 0,01$) foi possível transformar os ângulos médios obtidos na estatística circular em datas médias com os picos de ocorrências da fenofase floração para os tratamentos C (05/03/2016), T (08/01/2016), e TP (15/07/2015) e frutificação para os tratamentos C (13/02/2016), P (24/02/2016), T (15/06/2016) e TP (06/07/2016). Os valores do comprimento do vetor médio (r) indicaram maior concentração dos eventos de frutificação de *A. arenaria* para todos os tratamentos ao longo do período avaliado em comparação com a floração e junto com os valores do teste de Rayleigh (Z) sugerem a presença de padrão sazonal das fenofases frutificação e floração. Quando comparados os tratamentos, é possível verificar que os indivíduos de *A. arenaria* em TP apresentaram maior intensidade da sazonalidade para a frutificação, uma vez que o valor do comprimento do vetor médio (r) foi maior que 0,5 (Figura 6, Tabela 2).

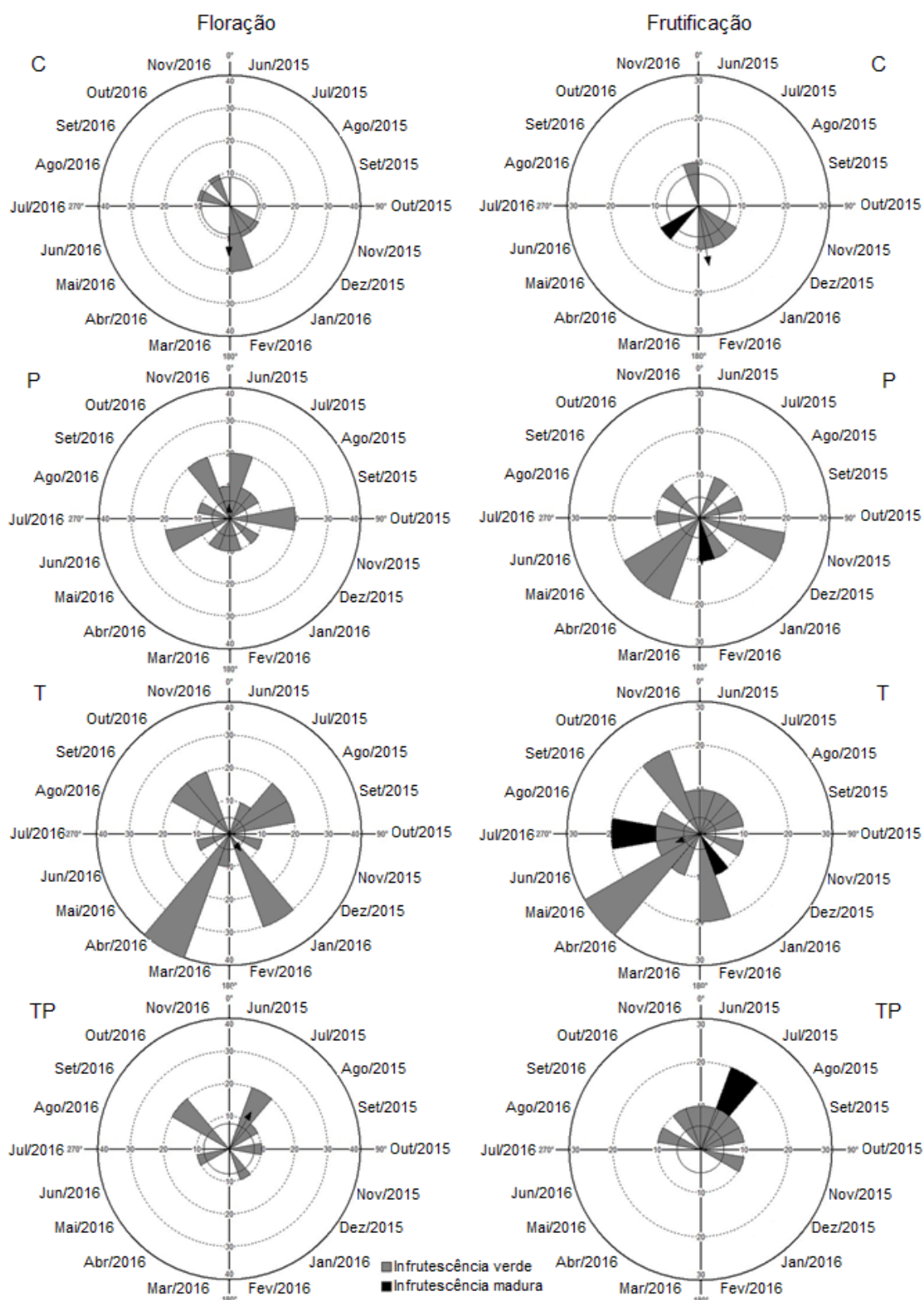


Figura 6: Histogramas circulares com o índice de atividade das fenofases floração e frutificação (infrutescências verdes e maduras) de *A. arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) no período de junho/2015 a novembro/2016.

Tabela 2: Número de observações de fenofases (n), ângulo médio (μ), comprimento do vetor médio (r), teste de Rayleigh (Z) para as fenofases floração e frutificação dos indivíduos de *A. arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) no período de junho/2015 a novembro/2016.

	Floração				Frutificação			
	C	P	T	TP	C	P	T	TP
Número de observações (n)	6	16	18	8	5	12	19	9
Ângulo médio (μ)	182°	356°	146°	30°	170°	177°	250°	24°
Comprimento do vetor médio (r)	0,38	0,11	0,16	0,33	0,46	0,36	0,20	0,62
Teste de Rayleigh (Z)	8,80 *	1,95	4,89*	8,89*	10,7 *	15,6*	7,3*	34,8*

(*) valores significativos para o teste de Rayleigh ($p < 0,01$).

4. DISCUSSÃO

No geral, com os resultados obtidos é possível inferir que os efeitos do aumento de temperatura e volume pluviométrico isolados e combinados geraram diferentes respostas nos indivíduos de *A. arenaria*, a variação da biomassa aérea foi favorecida pelo aumento de temperatura aliada ao aumento do volume pluviométrico enquanto que o aumento de temperatura isoladamente intensificou a produção de estruturas reprodutivas.

As OTC's possibilitaram um aumento de temperatura de aproximadamente 2 °C em seu interior. Bokhorst e outros (2013), ao levantarem estudos que abordam as influências microclimáticas das OTC's, também observaram a interferência destas estufas no aumento de até 2,1 °C na temperatura em seu interior, e demonstraram que este aumento de temperatura se relaciona sobretudo à irradiância. De Boeck e outros (2012), por sua vez, constataram que a redução da velocidade do vento dentro das OTC's contribuem para o aumento de temperatura dentro das mesmas e nos tecidos vegetais. Dessa forma, as OTC's constituem uma importante ferramenta nos estudos de mudanças climáticas, pois permitiram simular os efeitos do aumento de temperatura em ambiente natural.

Os resultados mostraram menores valores significativos de umidade relativa do ar no interior das OTC's no horário de maior irradiância e, portanto, maior temperatura. Segundo Buriol e outros (2000), em períodos diurnos, é possível observar menores valores da umidade relativa do ar no interior de estufas, acompanhado de acréscimos na temperatura do ar em comparação ao ambiente externo. De forma geral, o monitoramento da variação diária de temperatura e umidade relativa do ar sob as copas de *A. arenaria* também permitiu constatar, para todos os tratamentos, a relação inversa entre temperatura e umidade relativa do ar no ambiente estudado no período de maior incidência de radiação solar, onde obteve-se os maiores temperaturas e menores valores de umidade relativa do ar.

A interação entre aumento de temperatura e volume pluviométrico garantiu condições favoráveis para obtenção do maior valor de variação da biomassa aérea dos indivíduos de *A. arenaria* no tratamento TP, observado durante o período analisado. Estudos similares demonstraram o papel da precipitação no aumento da biomassa de espécies (KARDOL et al, 2010; SPENCE et al, 2016) e, neste trabalho, houve influência da combinação entre acréscimos de volume

pluviométrico e temperatura nos maiores valores de biomassa observados. Sabe-se que o crescimento é controlado pelo balanço de água na planta, sendo esse controle dado pela relação entre absorção e transpiração. O balanço adequado de água e temperatura dos indivíduos de *A. arenaria* no tratamento TP pode ter permitido maior abertura estomática, favorecendo, de certa forma, maiores taxas fotossintéticas e permitindo maior crescimento. Por outro lado, a exposição dos indivíduos de *A. arenaria* ao aumento de temperatura do ar isoladamente levou a uma produção de biomassa substancialmente menor, quando comparado ao tratamento TP. De Boeck e outros (2008) relataram o efeito negativo do aumento de temperatura na produção de biomassa de nove espécies de pastagens atribuído, principalmente, as condições de alto estresse abiótico dessas espécies submetidas à elevação de temperatura. Uma possível explicação seria que as altas temperaturas verificadas no tratamento T provocaram um aumento das taxas de transpiração, causando déficit interno de água que pode ter reduzido o seu crescimento pela ação do fechamento estomático e redução da fotossíntese.

De forma geral, o tipo de fenologia reprodutiva, a duração dos ciclos fenológicos e a sincronia das fenofases floração e frutificação entre os indivíduos de *A. arenaria* estão de acordo com o observado por Machado (2013), para essa espécie, em trabalho com fenologia de espécies arbóreas e arbustivas na restinga de Jurubatiba/RJ. Contudo, foi possível observar que uma certa quantidade de inflorescências foram abortadas no período avaliado, entrando em senescência antes de completar o ciclo reprodutivo. Isso associado aos baixos valores de precipitação registrados para área de estudo durante a avaliação fenológica, sendo o período caracterizando por vários meses de seca (Figura 2). O mesmo ocorreu para as infrutescências, em que as altas taxas de abortamento resultaram nos poucos registros de infrutescências maduras durante o período avaliado. Além disso, sugere-se que, a falta de sincronia na frutificação observada para *A. arenaria* no presente estudo, pode ter sido influenciada pelas altas taxas de abortos registradas.

Os períodos de maior intensidade das fenofases floração e frutificação dada pelo Índice de Intensidade de Fournier, ocorreram nos períodos secos para todos os tratamentos. Esse índice indica o período com maior número de estruturas fenológicas (inflorescência e infrutescências) observadas. Em parte, isso se deve ao período estudado ter sido caracterizado por meses de com baixos valores de

precipitação. Assim, o evento de seca e sua influência sobre as fenofases não é conclusivo, mas torna-se um ponto de partida para análises futuras. Mais estudos precisam ser feitos em períodos com maior duração das observações fenológicas para elucidar as preferências dessa espécie.

Analisando os tratamentos, os indivíduos e *A. arenaria* em T apresentaram mais ciclos reprodutivos, com maior número de fenofases de floração e frutificação ao longo do período avaliado em comparação aos tratamentos C e TP. Além disso, a duração dos ciclos fenológicos nesse tratamento foram mais curtos. Isso porque, o aumento de 2 °C de temperatura no tratamento T conferiu condições ainda mais limitantes para o crescimento de *A. arenaria* quando comparados aos demais tratamentos, o que levou os indivíduos a investirem em mais ciclos reprodutivos como estratégia de sobrevivência da espécie. Estudos indicam que temperaturas elevadas estão acelerando os ciclos fenológicos das espécies ao redor do mundo (PREVÉY et al., 2017), sugerindo que as futuras mudanças climáticas globais poderão alterar significativamente a fenologia das plantas em detrimento do incremento de temperatura (CLELAND et al., 2007).

A análise circular dos eventos fenológicos apresentados na figura 4 e tabela 2, permitiu não somente registrar a atividade das fenofases ao longo do ano, mas também testar a presença e intensidade da sazonalidade das mesmas. Foi possível observar um certo grau de sazonalidade das fenofases dos indivíduos de *A. arenaria* para os tratamentos, exceto para P no evento de floração. Assim, em P os dados foram distribuídos uniformemente ou casualizados ao longo do período avaliado. Ou seja, não houve efeito da estacionalidade sobre a fenofase, não sendo possível encontrar uma data média de ocorrência. Verificada a presença da sazonalidade dos eventos fenológicos para os tratamentos, destacou-se a baixa intensidade dessa sazonalidade. Isso porque o valor do comprimento do vetor médio (r) ficou abaixo de 0,5, com exceção do tratamento TP na fenofase frutificação. As datas médias encontradas indicam as possíveis épocas do ano onde podem ser encontrados indivíduos nas fenofases de floração e frutificação. A presença da baixa intensidade da sazonalidade de *A. arenaria* também foi observada por Machado (2013) em estudo com essa mesma espécie.

Ao analisar os indivíduos de *A. arenaria* nos tratamentos T e TP quanto a preferência entre crescimento e reprodução é possível encontrar um padrão de resposta dessa espécie para as variáveis climáticas de temperatura e pluviosidade

analisadas. Os indivíduos de *A. arenaria* no tratamento T, em condições de estresse imposto pelo aumento de temperatura, investiram em mais ciclos reprodutivos durante o período avaliado, produzindo mais inflorescências e infrutescências em detrimento da produção de biomassa aérea, que variou menos, em relação a TP. Isso pois, os indivíduos no tratamento T submetidos à altas temperaturas, tentaram regular a abertura estomática e, portanto, a perda de água por transpiração. Essa redução na abertura estomática também é acompanhada por redução na condutância estomática, o que pode levar a um declínio acentuado na taxa de fotossíntese (KATSOULAS et al., 2001; MURAOKA et al., 2000; TUCCI et al., 2010). A inibição da fotossíntese causada pela alta temperatura e baixa umidade (alto déficit de pressão de vapor) observados em T pode ter limitado o crescimento desses indivíduos (ZHANG et al., 2015). Assim, os esforços se concentraram na tentativa de produzir mais estruturas reprodutivas. Segundo Crosby e outros (2015) é possível que a fenologia reprodutiva possa coincidir com mudança de alocação de recursos entre parte aérea e raízes. Ou seja, os indivíduos de *A. arenaria* no tratamento T poderiam estar investindo em biomassa de raízes para absorção de água na tentativa, talvez, de minimizar o possível déficit hídrico provocado por perda de água na transpiração acarretados por aumento de temperatura. Em contrapartida, os indivíduos de *A. arenaria* no tratamento TP em condições satisfatórias de água aliado a altas temperaturas investiram em produção de biomassa aérea apresentando menor número de ciclos reprodutivos ao longo do período avaliado refletindo a estratégia de sobrevivência dessa espécie. Assim, foi possível verificar duas vertentes distintas entre os resultados no sentido de produção de biomassa aérea para os indivíduos no tratamento TP e estruturas reprodutivas para os indivíduos no tratamento T.

5. CONCLUSÕES

As OTC's e calhas coletoras de chuva são instrumentos importantes para estudos de mudanças climáticas e permitiram alterar o microclima entorno dos indivíduos de *A. arenaria* possibilitando acompanhar e avaliar as alterações dessa espécie em ambiente natural com espécies adultas já estabelecidas. Foi possível ter uma visão geral sobre a fenologia reprodutiva de *A. arenaria*, sua sazonalidade e determinar as datas que indicam os possíveis meses do ano onde podem ser encontrados indivíduos nas fenofases de floração e frutificação. Os aumentos combinados de temperatura em 2 °C e volume pluviométrico em 25 % favoreceram a produção de biomassa aérea em *A. arenaria* e o aumento de temperatura em 2 °C isoladamente culminou em mais ciclos reprodutivos dessa espécie. Duas vertentes distintas entre os resultados no sentido de produção de biomassa e estruturas reprodutivas foram verificados para os tratamentos T e TP. Possíveis aumentos de temperatura futuros poderão encurtar o ciclo reprodutivo de *A. arenaria* na tentativa de garantir o sucesso adaptativo e evolutivo dessa espécie. Nas restinga as condições de temperatura, disponibilidade hídrica e salinidade já são limitantes para as espécies e aumentos de temperatura levaria essas condições para um ponto ainda mais extremo de sobrevivência nesse ambiente, contudo, aumento do volume pluviométrico poderia amenizar essas condições.

6. REFERÊNCIAS

BADECK, F.W.; BONDEAU, A.; BÉOTTCHEK, K. DOKTOR, D.; LUCHT, W.; SCHABER, J.; SITCH, S. Responses of spring phenology to climate change. **New Phytologist**, v.162, n. 2, p.295-309, 2004.

BENCKE, C.S.C.; MORELLATO, L.P.C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 3, p.269-275, 2002.

BOKHORST, S.; HUISKES, A.; AERTS, R.; CONVEY, P.; COOPER, E.J.; DALEN, L.; DORREPAAL, E. Variable temperature effects of open top chambers at polar and alpine sites explained by irradiance and snow depth. **Global Change Biology**, v.19, n. 1, p. 64-74, 2013.

BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; ESTEFANEL, V.; MATZENAUER, R.; MARCON, I.A. Condições térmicas para o cultivo do pepineiro na região do baixo vale do Taquari, RS: 2. Temperatura máxima e soma térmica. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.6, n. 2, p.215-223, 2000.

CARLYLE, C.N.; FRASER, L. H.; TURKINGTON, R. Response of grassland biomass production to simulated climate change and clipping along an elevation gradient. **Oecologia**, v. 174, n. 3, p. 1065-1073, 2014.

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.

CEPEMAR. **Plano de manejo do Parque Estadual de Itaúnas**, 2004. Disponível em: <http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp?pagina=16707>. Acesso em: 11 jan. 2017.

CLELAND, E.E.; CHUINE, I.; MENZEL, A.; MOONEY, H.A.; SCHWARTZ, M.D. Shifting plant phenology in response to global change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 2, p. 357-365, 2007.

CRIMMINS, M.A.; CRIMMINS, T.M. Monitoring plant phenology using digital repeat photography. **Environmental Management**, v.41, n. 6, p. 949-958, 2008.

CROSBY, S.C.; IVENS-DURAN, M.; BERTNESS, M.D.; DAVEY, E.; DEEGAN; L. A.; LESLIE, H. M. Flowering and biomass allocation in U.S. Atlantic coast *Spartina alterniflora*. **American Journal of Botany**, v. 102, n. 5, p. 669-676, 2015.

DE BOECK, H.J.; LEMMENS, C.M.H.M, ZAVALLONI, B, ET AL. Biomass production in experimental grasslands of different species richness during three years of climate warming. **Biogeosciences**, v. 5, n. 2, p. 585-594, 2008.

DE BOECK, H.J.; DE GROOTE, T.; NIJS I. Leaf temperatures in glasshouses and open-top chambers. **New Phytologist**, v. 194, n. 4 p. 1155-1164, 2012.

DE VALPINE, P.; HARTE, J. Plant responses to experimental warming in a montane meadow. **Ecology**, v. 82, n. 3, p. 637-648, 2001.

ESTRELLA, N.; MENZEL, A. Responses of leaf colouring in four deciduous tree species to climate and weather in Germany. **Climate Research**, v. 32, n. 3, p. 253-267, 2006.

FANG, X.; CHEN, F.; Plant phenology and climate change. **Journal of Asian Earth Sciences**, v. 58, n. 6, p. 1043-1044, 2015.

FOURNIER, L.A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**, v. 24, n. 4, p. 422-423, 1974.

GORDO, O.; SANZ, J.J. Phenology and climate change: A long-term study in a Mediterranean locality. **Oecologia**, v. 146, n. 3, p. 484-495, 2005.

GORDO, O; SANZ, J.J. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. **Global Change Biology**, v. 16, n. 3, p. 1082-1106, 2010.

HAY, J.D.; HENRIQUES, P.B.; COSTA, S.R.A. Uma avaliação preliminar da possibilidade de usar equações de regressão para estimativas da biomassa na restinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 5, p. 33-36, 1982.

HOF, C.; LEVINSKY, I.; ARAUJO, M.B.; RAHBEK, C. Rethinking species' ability to cope with rapid climate change. **Global Change Biology**, v.17, n. 9, p. 2987-2990, 2011.

HUXMAN, T.E.; SMITH, M.D.; FAY, P.A.; KNAPP, A.K.; SHAW, M.R.; LOIK, M.E.; SMITH, S.D.; TISSUE, D.T.; ZAK, J.C.; WELTZIN, J.F.; POCKMAN, W.T.; SALA, O.E.; HADDAD, B.M.; HARTE, J.; KOCH, G.W.; SCHWINNING, S.; SMALL, E.E.; WILLIAMS, D.G. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. **Nature**, v. 429, n. 6992, p. 651-654, 2004.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2017, Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 21 jan. 2017

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J.; MASTRANDREA, M.D.; BILIR T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE, L.L. Cambridge/New York: Cambridge University Press/ IPCC, 2014.

KARDOL, P.; CAMPANY, C. E.; SOUZA, L.; NORBY, R.J.; WELTZIN, J.F.; CLASSEN, A.T. Climate change effects on plant biomass alter dominance patterns and community evenness in an experimental old-field ecosystem. **Global Change Biology**, v. 16, n. 10, p. 2676-2687, 2010.

KATSOULAS, N.; KITTAS, C.; BAILLE, A. Estimating transpiration rate and canopy resistance of a rose crop in a fan-ventilated greenhouse. **Acta Horticulturae**, n. 548, p. 303-309, 2001.

KEYZER, C. W. DE; RAFFERTY, N.E.; INOUYE, D.W.; THOMSON, J.D. Confounding effects of spatial variation on shifts in phenology. **Global Change Biology**, v. 23, n. 5, p. 1783-1791, 2017.

KOVACH, W. L. **Oriana - Circular Statistics for Windows**. Version 3. Pentraeth, Wales: Kovach Computing Services, 2009.

LACERDA, F.F.; NOBRE, P.; SOBRAL, M.C.; LOPES, G.M.B.; CHOU, S.C. Longterm Temperature and Rainfall Trends over Northeast Brazil and Cape Verde. **Journal of Earth Science Climate Change**, v. 6, n. 8, p. 296-304, 2015.

LESSIN, R.C.; GHINI, R. Efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre o oídio e o crescimento de plantas de soja. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 6, p. 385-392, 2009.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.; KAHN, F. ET AL. **Flora Brasileira - Arecaceae** (Palmeiras). Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 2010.

LU, P.L.; YU, Q.; LIU, J.D.; HE, Q.T. Effects of changes in spring temperature on flowering dates of woody plants across China. **Botanical Studies**, v. 47, p. 153-161, 2006.

MACHADO, N.C. Aspectos fenológicos de espécies arbóreas e arbustivas em formações vegetacionais abertas no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Carapebus, Rio de Janeiro, Brasil. **Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação**, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, 2013. 102p.

MEINER, E.; DAHLBERG, C. J.; HYLANDER, K. Using Gaussian Bayesian networks to disentangle direct and indirect associations between landscape physiography, environmental variables and species distribution. **Ecological Modeling**, v. 313, p. 127-136, 2015.

MENDOZA, I.; PERES, C.A.; MORELLATO, L.P. *Continental-scale patterns and climatic drivers of fruiting phenology: A quantitative Neotropical review*. **Global and Planetary Change**, v. 148, p.227–241, 2017.

MENEZES, L.F.T.; ARAUJO, 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**, v. 60, n. 1, p. 147-157, 2000.

MENEZES, L.F.T.; PUGNAIRE, F.I.; MATALLANA, 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**, versão online, 2017.

MENZEL, A.; SPARKS, T.H.; ESTRELLA, N.; KOCH, E.; AASA, A.; AHAS, R.; ALM-KÜBLER, K.; BISSOLLI, P.; BRASLAVSKÁ, O.; BRIEDE, A.; CHMIELEWSKI, F. M.; CREPINSEK, Z.; CURNEL, Y.; DAHL, Å.; DEFILA, C.; DONNELLY, A.; FILELLA,

Y.; JATCZAK, K.; MÂGE, F.; MESTRE, A.; NORDLI, Ø.; PEÑUELAS, J.; PIRINEN, P.; REMIŠOVÁ, V.; SCHEIFINGER, H.; STRIZ, M.; SUSNIK, A.; VLIET, A. J. H. V.; WIELGOLASKI, F. E.; ZACH, S.; ZUST, A. European phenological response to climate change matches the warming pattern. **Global Change Biology**, v.12, n. 10, p. 1969-1976, 2006.

MONTEIRO, M.M.; GIARETTA, A.; PEREIRA, O.J; MENEZES, L.F.T. Composição e estrutura de uma restinga arbustiva aberta no norte do Espírito Santo e relações florísticas com formações similares no Sudeste do Brasil. **Rodriguésia**, v. 65, n. 1, p. 061-072, 2014.

MORAES R.,M.; MARTINS, R.C. **Allagoptera in Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2017, Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15666>. Acesso em: 19 out. 2017.

MORAN, E.V.; HARTIG, F.; BELL, D.M. Intraspecific trait variation across scales: implications for understanding global change responses. **Global Change Biology**, v. 22, n. 1, p. 137-150, 2016.

MORELLATO, L.P.C.; TALORA, D.C.; TAKAHASI, A.; BENCKE, C.C.; ROMERA, E.C.; ZIPPARRO, V.B. Phenology of Atlantic Rain Forest trees: A comparative study. **Biotropica**, v. 32, n. 4, p. 811-823, 2000.

MORELLATO, L.P.C.; ALBERTI, L.F.; HUDSON, I.L. Applications of circular statistics in plant phenology: a case studies approach. In: Keatley, M.; Hudson, I.L. (eds.), **Phenological Research: Methods for Environmental and Climate Change Analysis**. New York, Springer, p. 357- 371, 2010.

MURAOKA H.; TANG Y.; TERASHIMA I.; KOIZUMI H.; WASHITANI I. Contributions of diffusional limitation, photoinhibition and photorespiration to midday depression of photosynthesis in *Arisaema heterophyllum* in natural high light. **Plant, Cell and Environment**, v. 23, n. 3, p. 235-250, 2000.

PARMESAN, C.; HANLEY, M.E. Plants and climate change: complexities and surprises. **Annals of Botany**, v. 116, n. 6, p. 849-864, 2015.

PARMESAN, C.; YOHE, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature**, v. 421, n. 6918, p. 37–42, 2003.

PREVÉY, J.; VELLEND, M.; RÜGER, N.; HOLLISTER, R.D.; BJORKMAN, A.D.; MYERS-SMITH, I.H.; ELMENDORF, S.C.; CLARK, K.; COOPER, E.J.; ELBERLING, B.; FOSAA, A.M.; HENRY, G.H.R.; HØYE, T.T.; JÓNSDÓTTIR, I.S.; KLANDERUD, K.; LÉVESQUE, E.; MAURITZ, M.; MOLAU, U.; NATALI, S. M.; OBERBAUER, S.F.; PANCHEN, Z.A.; POST, E.; RUMPF, S.B.; SCHMIDT, N.M.; SCHUUR, E.A.G.; SEMENCHUK, P.R.; TROXLER, T.; WELKER, J.M.; RIXEN, C. Greater temperature sensitivity of plant phenology at colder sites: implications for convergence across northern latitudes. **Global Change Biology**, v. 23, n. 7, p. 2660-2671, 2017.

PRITCHARD, S.G.; AMTHOR, J.S. Crops and environmental change: an introduction to effects of global warming, increasing atmospheric CO₂ and O₃ concentrations, and soil salinization on crop physiology and yield. **Food Products**, v. 2, n. 7, 421 p., 2005.

RAI, P.K. A concise review on multifaceted impacts of climate change on plant phenology. **Environmental Skeptics and Critics**, v. 4, n. 4, p.106-115, 2015.

ROSENZWEIG, C.; KAROLY, D.; VICARELLI, M.; NEOFOTIS, P.; WU, Q.; CASASSA, G.; MENZEL, A.; ROOT, T.L.; ESTRELLA, N.; SEGUIN, B.; TRYJANOWSKI, P.; LIU, C.; RAWLINS, S.; IMESON, A. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. **Nature**, v. 435, n. 7193, p. 353-357, 2008.

RUSTAD, L.E.; CAMPBELL, J.L.; MARION, G.M.; NORBY, R.; MITCHELL, M.; HARTLEY, A.; CORNELISSEN, J.; GUREVITCH, J. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. **Oecologia**, v. 126, n. 4, p. 543–562, 2001.

SAXE, H.; CANNELL, M.G.R.; JOHNSEN, B.; RYAN, M.G.; VOURLITIS, G. Tree and forest functioning in response to global warming. **New Phytologist**, v. 149, p. 369-399, 2001.

SCARANO, F.R.; CIRNE, P.; NASCIMENTO, M.T.; SAMPAIO, M.C.; VILLELA, D.; 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. (Eds.), **Pesquisas de longa duração na Restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação**. São Carlos: Editora Rima, p. 77-97, 2004.

SHAVER, G.R.; CANADELL J.; CHAPIN, F.S.; GUREVITCH, J.; HARTE, J.; HENRY, G.; INESON, P.; JONASSON, S.; MELILLO, J.; PITELKA, L.; RUSTAD, L. Global warming and terrestrial ecosystems: a conceptual framework for analysis. **BioScience**, v. 50, n. 10, p. 871-882, 2000

SHERRY, R.A.; WENG, E.; ARNONE J.A.III.; JOHNSON, D. W.; SCHIMEL, D. S.; VERBURG, P. S.; WALLACE, L. L.; LUO, Y. Lagged effects of experimental warming and doubled precipitation on annual and seasonal aboveground biomass production in a tallgrass prairie. **Global Change Biology**, v. 14, n. 12, p. 2923–2926, 2008.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING. M.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.; TIGNOR, M.M.B.; MILLER JR, H.L. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

SPENCE, L.A.; LIANCOURT, P.; BOLDGIV, B.; PETRAITIS, P.S.; CASPER, B.B. Short-term manipulation of precipitation in Mongolian steppe shows vegetation influenced more by timing than amount of rainfall. **Journal of Vegetation Science**, v. 27, p. 249–258, 2016.

SULLIVAN, A.P.; HOLDEN, A.S.; PATTERSON, L.A.; MCMEEKING, G.R.; KREIDENWEIS, S.M.; MALM, W.C; HAO, W.M.; WOLD, C.E.; COLLETT JR, J.L. A method for smoke marker measurements and its potential application for determining the contribution of biomass burning from wildfires and prescribed fires to ambient PM_{2.5} organic carbon, **Jounal of Geophysical Research**, v. 113, n. D22, 2008.

SYLVESTRE, L.S; LEITE, C.O; TRIANI, L. Estudo do desenvolvimento do fruto de *Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Kuntze. **Acta Botânica Brasileira**, v. 2, n. 1, p. 183-191, 1989.

TUCCI, M.L.S.; ERISMANN, N.M.; MACHADO, E.C.; RIBEIRO, R.V. Diurnal and seasonal variation in photosynthesis of peach palms grown under subtropical conditions. **Photosynthetica** v. 48, n. 3, p. 421-429, 2010.

WALTHER, G.R.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T.J.; FROMENTIN, J.M.; HOEGH-GULDBERG, O.; BAIRLEIN, F. Ecological responses to recent climate change. **Nature**, v. 416, n. 6879, p. 389-395, 2002.

WAN, S.Q.; HUI, D.F.; WALLACE, L.; LUO, Y.Q. Direct and indirect effects of experimental warming on ecosystem carbon processes in a tallgrass prairie. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 19, GB2014, 2005.

WILLIAMS, T.A.; ABBERTON, M.T. Earlier flowering between 1962 and 2002 in agricultural varieties of white clover. **Oecologia**, v. 138, n. 1, p. 122-126, 2004.

WOLKOVICH, A.M.; COOK, B.I.; ALLEN, J.M.; CRIMMINS, T.M.; BETANCOURT, J.L.; TRAVERS, S.E.; PAU, S.; REGETZ, J.; DAVIES, T.J.; KRAFT, N.J.B.; AULT, T.R.; BOLMGREN, K.; MAZER, S.J.; MCCABE, G.J.; MCGILL, B.J.; PARMESAN, C.; SALAMIN, N.; SCHWARTZ, M.D.; CLELAND, E.E. Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. **Nature**, v. 485, n. 7399, p. 494–497, 2012.

ZALUAR, H.T.; SCARANO, F.R. Facilitação em restingas de moitas: um século de buscas por espécies focais. In: Esteves, F.A.; Lacerda, L.D. (orgs.). **Ecologia de restingas e lagoas costeiras**. Macaé: NUPEM/UFRJ, p. 3-23, 2000.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

ZHANG, D.; ZHANG, Z.; LI, J.; CHANG, Y.; DU, Q.; PAN, T. Regulation of Vapor Pressure Deficit by Greenhouse Micro-Fog Systems Improved Growth and Productivity of Tomato via Enhancing Photosynthesis during Summer Season. **PLoS ONE**, v. 10, n. 7, e0133919, 2015.

**CAPITULO 2 – ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DE *Allagoptera arenaria*
(ARECACEAE) EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS GLOBAIS**

Autores: Liliane Baldan Zani^{1*} • Antelmo Ralph Falqueto² • Luis Fernando Tavares de Menezes²

⁽¹⁾ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Departamento de Ciências Biológicas, Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, CEP 29075-910, Vitória, ES, Brasil.

⁽²⁾ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, CEP 29932-900, São Mateus, ES, Brasil.

*Autor para correspondência: lilianebzani@gmail.com

RESUMO

As mudanças climáticas globais incluem alterações de variáveis ambientais, temperatura e precipitação, que são determinantes na atividade fotossintética das plantas, podendo ter consequências para o desempenho e sobrevivência das mesmas. Dessa forma, testamos o efeito do aumento de temperatura e volume pluviométrico na atividade fotossintética de *Allagoptera arenaria* nos meses de novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/2016. Para simular o aumento de temperatura foram usadas câmaras de topo aberto (*open top chambers* - OTC's) modificadas e para o aumento do volume pluviométrico, calhas coletoras de chuva. Utilizou-se 40 indivíduos de *A. arenaria* distribuídos em quatro tratamentos, sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP). Este estudo demonstrou que as plantas submetidas ao tratamento TP apresentaram as maiores taxas de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), e transpiração (E) enquanto que o tratamento T apresentou as menores taxas nas amostragens inicialmente. Quanto a interação entre as variáveis fotossintéticas foi possível afirmar que nos meses de novembro/2015, fevereiro/2016 e junho/2016 houve a maior variação entre as variáveis de trocas gasosas, enquanto que em novembro/2016 houve poucas alterações significativas entre essas variáveis. Nossos resultados indicam uma compensação entre as variáveis fotossintéticas a fim de possibilitar a aclimação dos indivíduos de *A. arenaria* às condições de aumento de temperatura e volume pluviométrico dos tratamentos.

Palavras-chave: Fotossíntese • mudanças climáticas • OTC • PCA • restinga •

ABSTRACT

Global climatic changes include alterations of environmental variables, temperature and precipitation, which are determinant in the photosynthetic activity of the plants, and may have consequences for their performance and survival. Thus, we tested the effect of temperature and pluviometric volume increase on the photosynthetic activity of *Allagoptera arenaria* in the months of November/2015, February/2016, June/2016 and November/2016. In order to simulate the temperature increase, open top chambers (OTC's) were used and rain gauge ramps were used to increase the rainfall volume. It was used 40 individuals of *A. Arenaria* distributed in four treatments, without OTC and gut (C), with gut (P), with OTC (T) and with OTC and gut (TP). This study demonstrated that the plants submitted to TP treatment had the highest rates of assimilation of CO₂ (*A*), stomatal conductance (*g_s*), and transpiration (*E*), whereas the T treatment presented the lowest rates in the samplings initially. As for the interaction between the photosynthetic variables, it was possible to affirm that in the months of November/2015, February/2016 and June/2016 there was a greater variation between the variables of gas exchange, whereas in November/2016 there were few significant alterations between these variables. Our results indicate a compensation among the photosynthetic variables in order to enable the acclimatization of *A. arenaria* individuals to the conditions of temperature increase and pluviometric volume of the treatments.

Keywords: Climate change • OTC • PCA • photosynthesis • restinga •

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas podem ter consequências determinantes para o desempenho e sobrevivência das plantas no cenário atual. A possibilidade das espécies sobreviverem sob condições modificadas depende da sua capacidade de aclimação e consequente adaptação (WALTHER et al., 2002; DAVIS et al., 2005; HÄNEL; TIELBÖRGER, 2015; TOMIOLO et al., 2015). As mudanças no clima são complexas e envolvem aumentos simultâneos na concentração de dióxido de carbono atmosférico (CO₂) e temperatura do ar, juntamente com alterações na precipitação (WELTZIN; TISSUE, 2003; BEIER, 2004; IPCC, 2014). No Brasil, até 2100, espera-se um aumento entre 2,5 e 3 °C na temperatura do ar e um incremento de 25 a 30 % no percentual de chuvas para a região sul e sudeste da Mata Atlântica (RAN1, 2013).

A temperatura do ar constitui um importante fator abiótico na determinação das taxas fotossintéticas das plantas (FLEXAS et al., 2014). A elevação da temperatura pode aumentar a assimilação de CO₂, contudo, é provável que ocorram reduções nas taxas fotossintéticas com o aumento da temperatura da folha acima de 30 °C (NORBY; LUO, 2004). Essas reduções das taxas fotossintéticas podem ser ocasionadas, principalmente, pelo aumento da respiração e redução da condutância estomática em resposta ao alto déficit de pressão de vapor das folhas (LLOYD; FARQUHAR, 2008). Por outro lado, a maioria das plantas com acesso satisfatório à água é capaz de manter a temperatura foliar abaixo de 45 °C por meio de esfriamento evaporativo, mesmo em ambientes com temperaturas elevadas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Embora os efeitos sobre o aparato fotossintético sejam restritivos, a exposição a longos períodos nas condições sub-letais pode levar a uma aclimação fisiológica da planta, permitindo a manutenção de sua homeostase (FLEXAS et al., 2006). A influência da temperatura na taxa fotossintética tem sido um foco de interesse nos últimos anos por causa de suas profundas implicações no novo cenário climático. Muitos estudos abordam a variabilidade das respostas das variáveis de trocas gasosas em diferentes espécies ao aumento de temperatura (MEDLYN et al., 2002; HAN et al., 2004; BORJIGIDAI et al., 2006; DIAS; MARENCO, 2007; HAN et al., 2008; SAGE et al., 2008; DILLEN et al., 2012; LIN et al., 2013; FLEXAS et al., 2014; CHANG et al., 2016; MEDIAVILLA et al., 2016).

A disponibilidade de água é um fator que desempenha papel crucial no crescimento das plantas. O volume e a frequência dos eventos de precipitação influenciam o crescimento e as interações das espécies diretamente através de mudanças na umidade do solo (KNAPP et al., 2002; 2008; 2015; WELTZIN; TISSUE, 2003; NIPPERT et al., 2006). Estudos com precipitação adicional tem mostrado aumentos na produtividade das plantas (KNAPP et al., 2002; LEVINE et al., 2011; MIRANDA et al., 2011; YANG et al., 2011; SPENCE et al., 2016).

Nesse aspecto, as experiências de simulação climática são importantes na identificação de possíveis respostas das espécies às mudanças no clima (DE BOECK et al., 2012). Parte-se da premissa que as plantas estão modificando seus processos ecofisiológicos, a fim de se aclimatarem e sobreviverem aos novos cenários climáticos (BONAN, 2008; BERRY et al., 2010; COATES et al., 2011). Nos ambientes de restinga, as espécies já lidam com altas temperaturas atmosféricas, além de deficiência hídrica e nutricional (SCARANO, 2002) e as inúmeras evidências da plasticidade morfofisiológicas de plantas da restinga (SCARANO et al., 2001; 2002; 2005) são um sinal positivo neste sentido.

A palmeira *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze é endêmica do sudeste do Brasil (LORENZI et al., 2010) e desempenha importante papel como espécie facilitadora em ambientes de restinga (SCARANO, 2002; ARAUJO et al, 2004; MENEZES et al., 2017). Com as mudanças climáticas, o aumento de temperatura e precipitação previsto para o sudeste do Brasil pode desencadear alterações nas taxas fotossintéticas desta espécie. Ao objetivos deste trabalho foram verificar os possíveis efeitos isolados e combinados do aumento de 2 °C de temperatura e incremento de 25 % de precipitação sobre a atividade fotossintética de *A. arenaria* e o tempo de aclimação sob essas condições em formação arbustiva aberta de restinga. Nós hipotetizamos que o aumento de temperatura diminuiria a assimilação de CO₂ pelo efeito do aumento do DPV no fechamento estomático e sugerimos que o aumento de precipitação pode aumentar a disponibilidade hídrica para as raízes dessas plantas, contribuindo para a abertura estomática e influxo de CO₂ e aumentando as taxas fotossintéticas quando combinado ao efeito do aumento de temperatura. Perguntamos também até que ponto, *A. arenaria* responde a essas mudanças, já que na restinga as espécies tem uma capacidade de aclimação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área e espécie de estudo

O experimento foi conduzido sob condições de campo dentro dos limites do Parque Estadual de Itaúnas (PEI), em uma formação arbustiva aberta de restinga, localizada na Trilha das Borboletas, entre as coordenadas geográficas 18°24'21" S e 39°42'8" W, no município de Conceição da Barra, Espírito Santo. O clima da região é Aw na classificação de Köppen, apresentando clima tropical úmido com precipitação média anual em torno de 1100 mm, temperatura média anual de 23,8 °C e umidade relativa média de 84 %. Os meses mais chuvosos concentram-se em novembro e dezembro, com uma média de 185 mm de chuva nesse período, e os mais secos no inverno com média de 50 mm de chuva. A temperatura média no verão atingi cerca de 26 °C e no inverno 21 °C (CEPEMAR, 2004).

A espécie de estudo, *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze (Arecaceae), ocorre em forma de moitas monoespecíficas entremeadas por espaços sem vegetação, sendo uma palmeira pequena, com altura média de 1,5 m de altura e 2 m de diâmetro de copa. Distribui-se na planície litorânea do Brasil, ocorrendo naturalmente nas dunas e praias em solos arenosos ao longo do litoral, estendendo-se de Sergipe ao Paraná (MORAES; MARTINS, 2017).

2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido durante o período de junho de 2015 a novembro de 2016, sendo selecionados 40 indivíduos de *A. arenaria* com tamanhos de, aproximadamente, 2,0 m de diâmetro de copa e 1,20 m de altura, distribuídos aleatoriamente em uma mesma região. Para simular os efeitos das mudanças climáticas, foram confeccionadas câmaras de topo aberto (*open top chambers* - OTC's) sem injeção de CO₂, modificado de Pritchard e Amthor (2005). As OTC's foram construídas em formato circular com 2,5 m de diâmetro da base, 1,0 m de diâmetro no topo e 1,40 m de altura utilizando uma estrutura metálica envolta por cobertura plástica transparente (PVC) de 0,20 mm de espessura. As temperaturas dentro e fora das OTC'S foram monitoradas com Termômetro Digital Multifunção IP-410 Impac sendo registrado o aumento de, aproximadamente, 2 °C na temperatura do ar dentro das OTC's em relação a do ambiente. Além disso, foram utilizadas telhas de amianto de 244,0 cm de comprimento, 50,0 cm de largura e 4,0 mm de espessura que funcionaram como calhas coletoras de chuva para aumentar

a intensidade do volume pluviométrico, sendo distribuídas no entorno das copas de *A. arenaria* com função de aumentar a demanda hídrica em 25 % para as raízes das mesmas. O experimento foi instalado seguindo delineamento experimental inteiramente casualizado com dez repetições e quatro tratamentos, sem OTC e calha (Controle, C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP).

2.3 *Análise de trocas gasosas*

As medidas de trocas gasosas foram conduzidas em quatro períodos ao longo do experimento, nos meses de novembro de 2015, fevereiro de 2016, junho de 2016 e novembro de 2016, de 8h às 12h da manhã. As medições foram realizadas na porção média do folíolo localizado na região mediana das folhas novas totalmente expandidas a partir do ápice da planta. Foi utilizando o analisador de gás infravermelho (LI-6400XT, LI-COR, Lincoln, NE, USA) acoplado com fonte de luz vermelho/azul (LI-6400-02B LED). O sistema foi mantido constante sob irradiância de $800 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$ e temperatura de 27°C , sendo obtidos os dados de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO_2 (C_i), transpiração (E), déficit de pressão de vapor da folha (DPV), razão entre as concentrações de CO_2 intra e extracelular (C_i/C_a) e temperatura da folha (T_f). A partir dos dados de trocas gasosas foram determinadas a eficiência de carboxilação (A/C_i), a eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), e a eficiência do uso da água (A/E).

2.4 *Análise estatística*

Os dados foram avaliados pelo teste de Shapiro-Wilks para verificar a normalidade e em seguida foi utilizado ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$) por meio do programa InfoStat. Os dados foram expressos em média \pm erro padrão. A Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada pelo programa MINITAB 17, cruzando os dados de todas as variáveis fotossintéticas de todos os tratamentos e em todos os períodos de avaliação das trocas gasosas para identificar potenciais relações entre esses parâmetros e os tratamentos. A PCA foi complementada pela análise do coeficiente de correlação de Pearson que determinou as correlações significativas ($p < 0,05$ e $p < 0,01$) por meio do programa InfoStat.

3. RESULTADOS

3.1 Dados climáticos

Durante o período experimental, as condições climáticas se caracterizaram por baixa precipitação pluviométrica registrada para a região, com 797,3 mm de precipitação total anual em 2015 e 822,9 mm em 2016. Já a temperatura média anual observada foi de 25,8 °C para os anos de 2015 e 2016 (INMET, 2017). Os valores de precipitação anual total tanto para 2015, quanto para 2016 apresentaram-se abaixo dos valores médios encontrados para a região de acordo com a série histórica de dados climáticos do INMET (2017), que registrou precipitação média anual de 1386 mm para o período de 1992 a 2014. Apesar disso, foi possível constatar que os meses que foram realizadas as amostragens, novembro/2015, junho/2016 e novembro/2016 foram precedidos por períodos de seca, enquanto que fevereiro/2016 foi precedido por mês chuvoso. Com relação as temperaturas, pode-se destacar os meses de novembro/2015 e fevereiro/2016 como meses mais quentes, com temperaturas máximas entorno de 33 °C, em comparação os meses de junho/2016 e novembro/2016 que apresentaram temperaturas máximas próximas a 28 °C (Figura 1).

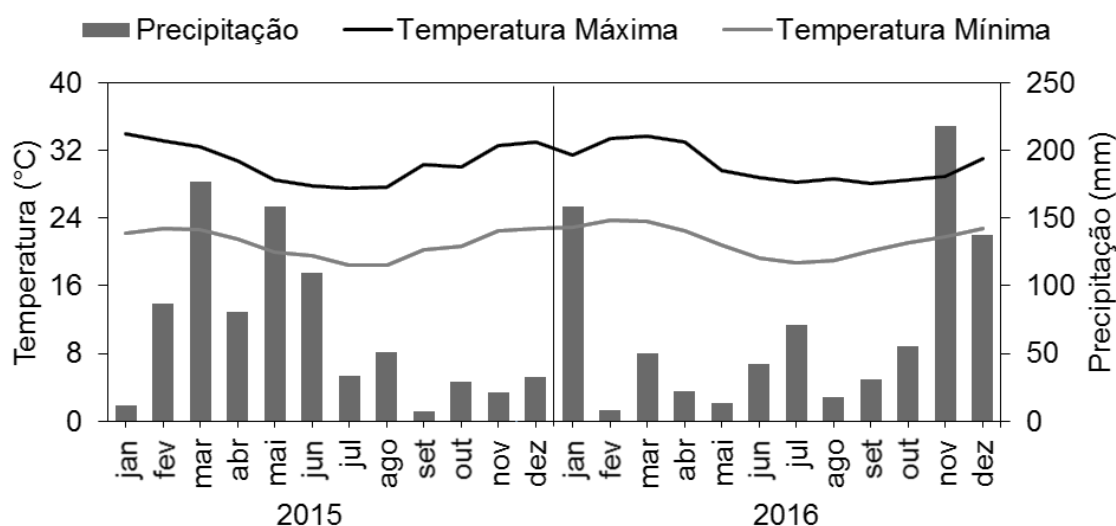


Figura 1: Temperatura máxima e mínima média (°C) e precipitação total (mm), entre os meses de janeiro de 2015 a dezembro de 2016 para região norte do Espírito Santo. Fonte: BDMEP - INMET.

3.2 Trocas gasosas

Os resultados das análises de trocas gasosas de *A. arenaria* nos tratamentos C, P, T, e TP em novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/2016 estão representados na tabela 1.

Tabela 1: Assimilação líquida de CO₂ (A , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{molH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração intercelular de CO₂ (C_i , $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e transpiração (E , $\text{molH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), razão entre concentrações de CO₂ intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV, kPa), temperatura da folha (T_f , °C), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s , $\mu\text{molCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$), eficiência de carboxilação (A/C_i , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$) e a eficiência do uso da água (A/E , $\mu\text{molCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$) de *Allagoptera arenaria* submetida aos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) nos meses de novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/2106.

Variáveis	Novembro/2015			
	C	P	T	TP
A	3,77 ± 0,56 ^A	3,87 ± 0,56 ^A	3,70 ± 0,56 ^A	6,78 ± 0,56 ^B
g_s	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01
C_i	274 ± 15 ^{AB}	298 ± 15 ^B	289 ± 15 ^{AB}	236 ± 15 ^A
E	1,75 ± 0,18 ^A	2,21 ± 0,18 ^{AB}	2,52 ± 0,18 ^B	2,82 ± 0,18 ^B
C_i/C_a	0,68 ± 0,04 ^{AB}	0,75 ± 0,04 ^B	0,73 ± 0,04 ^{AB}	0,60 ± 0,04 ^A
DPV	2,87 ± 0,21	2,83 ± 0,21	3,23 ± 0,21	3,43 ± 0,21
T_f	35,3 ± 0,6	36,0 ± 0,6	36,6 ± 0,6	37,4 ± 0,6
A/g_s	65,0 ± 9,0 ^{AB}	50,7 ± 9,0 ^A	53,3 ± 9,0 ^{AB}	86,2 ± 9,0 ^B
A/C_i	0,016 ± 0,003 ^A	0,014 ± 0,003 ^A	0,014 ± 0,003 ^A	0,029 ± 0,003 ^B
A/E	2,36 ± 0,33	1,76 ± 0,33	1,54 ± 0,33	2,46 ± 0,33
Fevereiro/2016				
A	8,40 ± 0,38 ^B	8,78 ± 0,38 ^{BC}	5,19 ± 0,38 ^A	9,99 ± 0,38 ^C
g_s	0,09 ± 0,01 ^B	0,11 ± 0,01 ^B	0,06 ± 0,01 ^A	0,15 ± 0,01 ^C
C_i	218 ± 9 ^A	247 ± 9 ^{AB}	235 ± 9 ^A	277 ± 9 ^B
E	1,37 ± 0,12 ^A	2,08 ± 0,12 ^B	1,16 ± 0,12 ^A	2,13 ± 0,12 ^B
C_i/C_a	0,55 ± 0,02 ^A	0,63 ± 0,02 ^{AB}	0,59 ± 0,02 ^A	0,70 ± 0,02 ^B
DPV	1,55 ± 0,03 ^B	1,87 ± 0,03 ^C	1,94 ± 0,03 ^C	1,41 ± 0,03 ^A
T_f	31,9 ± 0,2 ^A	35,0 ± 0,2 ^B	35,7 ± 0,2 ^B	31,5 ± 0,2 ^A
A/g_s	101,2 ± 5,9 ^B	83,4 ± 5,9 ^{AB}	91,4 ± 5,9 ^B	66,6 ± 5,9 ^A
A/C_i	0,040 ± 0,002 ^B	0,036 ± 0,002 ^B	0,022 ± 0,002 ^A	0,036 ± 0,002 ^B
A/E	6,47 ± 0,35 ^B	4,39 ± 0,35 ^A	4,63 ± 0,35 ^A	4,70 ± 0,35 ^A
Junho/2016				
A	8,65 ± 0,48	9,17 ± 0,48	9,63 ± 0,48	9,19 ± 0,48
g_s	0,14 ± 0,02 ^A	0,16 ± 0,02 ^A	0,12 ± 0,02 ^A	0,26 ± 0,02 ^B
C_i	257 ± 13 ^A	270 ± 13 ^A	246 ± 13 ^A	324 ± 13 ^B
E	1,11 ± 0,10 ^A	1,30 ± 0,10 ^{AB}	1,48 ± 0,10 ^B	1,41 ± 0,10 ^{AB}
C_i/C_a	0,65 ± 0,03 ^A	0,69 ± 0,03 ^A	0,63 ± 0,03 ^A	0,82 ± 0,03 ^B
DPV	0,99 ± 0,11 ^{AB}	1,03 ± 0,11 ^B	1,32 ± 0,11 ^B	0,60 ± 0,11 ^A
T_f	27,9 ± 0,2 ^A	28,5 ± 0,2 ^A	29,5 ± 0,2 ^B	27,9 ± 0,2 ^A
A/g_s	75,8 ± 8 ^B	69,4 ± 8 ^B	85,8 ± 8 ^B	38,5 ± 8 ^A

A/C_i	$0,035 \pm 0,003^{AB}$	$0,035 \pm 0,003^{AB}$	$0,040 \pm 0,003^B$	$0,028 \pm 0,003^A$
A/E	$8,20 \pm 0,36^B$	$7,23 \pm 0,36^{AB}$	$6,64 \pm 0,36^A$	$6,56 \pm 0,36^A$
Novembro/2016				
A	$7,45 \pm 0,57$	$9,37 \pm 0,57$	$7,94 \pm 0,57$	$8,03 \pm 0,57$
g_s	$0,16 \pm 0,03$	$0,14 \pm 0,03$	$0,08 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,03$
C_i	284 ± 12^B	250 ± 12^{AB}	211 ± 12^A	249 ± 12^{AB}
E	$1,84 \pm 0,15$	$2,25 \pm 0,15$	$1,91 \pm 0,15$	$2,33 \pm 0,15$
C_i/C_a	$0,72 \pm 0,03^B$	$0,64 \pm 0,03^{AB}$	$0,54 \pm 0,03^A$	$0,63 \pm 0,03^{AB}$
DPV	$1,75 \pm 0,19$	$2,05 \pm 0,19$	$2,34 \pm 0,19$	$2,40 \pm 0,19$
T_f	$29,9 \pm 0,8$	$31,6 \pm 0,8$	$32,2 \pm 0,8$	$32,6 \pm 0,8$
A/g_s	$58,3 \pm 7,5^A$	$76,8 \pm 7,5^{AB}$	$100,5 \pm 7,5^B$	$77,8 \pm 7,5^{AB}$
A/C_i	$0,027 \pm 0,003^A$	$0,038 \pm 0,003^B$	$0,038 \pm 0,003^B$	$0,033 \pm 0,003^{AB}$
A/E	$4,23 \pm 0,36$	$4,21 \pm 0,36$	$4,29 \pm 0,36$	$3,59 \pm 0,36$

Médias \pm erro padrão seguidas de letras iguais na vertical para cada mês não apresentaram diferenças significativas (Tukey, $p < 0,05$).

As trocas gasosas de *A. arenaria* em novembro/2015 mostram diferenças significativas para os tratamentos C, P, T e TP, entre os valores das variáveis A , C_i , E , C_i/C_a , A/g_s e A/C_i (Tabela 1). Nesse período, os indivíduos de *A. arenaria* que apresentaram o maior valor de assimilação líquida de CO_2 (A) foram os submetidos ao tratamento TP, enquanto os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa entre os valores de A observados. No tratamento TP ainda, acompanhando os maiores valores de A foi possível destacar também os maiores valores das variáveis E , e A/C_i . Valores significativos das variáveis C_i , C_i/C_a e A/g_s foram observados para os tratamentos P e TP. Sendo que P apresentou os maiores valores significativos de C_i e C_i/C_a em comparação ao tratamento TP, que apresentou os menores valores, relação inversa foi observada para o parâmetro A/g_s que foi maior para TP e menor para P.

Em fevereiro/2016, os resultados das análises de trocas gasosas de *A. arenaria* mostram diferenças significativas entre todos os valores das variáveis fotossintéticas analisadas para os tratamentos C, P, T e TP (Tabela 1). Nesse período, a interação da elevação da temperatura e volume pluviométrico no tratamento TP apresentou efeito positivo significativo sobre os valores de g_s , E , C_i e C_i/C_a , mas não para o DPV que apresentou menor valor, essa relação também garantiu os maiores valores significativos de A observados para TP nesse período. Já o tratamento T, apresentou o menor valor significativo de A , g_s e A/C_i , e o maior

valor de DPV em relação aos demais tratamentos. Esse efeito do aumento de temperatura no tratamento T, contribuiu para os menores de valores de A observados nesse mês de amostragem. A maioria dos valores das variáveis fotossintéticas obtidas para o tratamento P não diferiram significativamente do tratamento C, exceto para os valores de DPV que junto com o tratamento T foram os maiores apresentados. Já para os valores de E encontrados, o tratamento P e TP obtiveram os maiores valores significativos, garantindo, dessa forma uma maior refrigeração da folhas de *A. arenaria* nesse período de avaliação, isso evidenciado pelos menores valores de T_f encontrados para ambos os tratamentos P e TP que tinham maior incremento do volume pluviométrico.

Os resultados das trocas gasosas de *A. arenaria* no mês de junho/2016, mostram diferenças significativas para os tratamentos, C, P, T e TP entre os valores de todas as variáveis avaliadas, g_s , C_i , E , C_i/C_a , DPV, T_f , A/g_s , A/C_i e A/E , exceto para A (Tabela 1). O tratamento TP nesse período apresentou os maiores valores significativos de g_s e C_i e menor valor de A/C_i e A/g_s , enquanto que o tratamento T apresentou os maiores valores significativos para E , T_f e A/C_i . O aumento do incremento de água no tratamento P não garantiu diferenças significativas nos valores das variáveis de trocas gasosas em relação ao controle.

Em novembro/2016, os resultados mostram diferenças significativas para os tratamentos, C, P, T e TP apenas entre os valores dos parâmetros C_i , C_i/C_a , A/g_s e A/C_i (Tabela 1). As principais diferenças observadas nesse período de análise foi para o tratamento T que apresentou os maiores valores significativos de C_i , A/C_i , A/g_s e os menores de C_i/C_a em comparação a controle. Os diferentes valores significativos das variáveis fotossintéticas obtidas nos meses de junho/2016 e novembro/2016, podem ter interagido de forma a manter as taxas de assimilação de CO_2 sem variações significativas de seus valores entre os tratamentos.

3.3 Análise integrada entre as variáveis fotossintéticas

A visão integrada entre as variáveis fotossintéticas analisadas e os tratamentos para todos os meses de amostragem foi fornecida pela PCA e complementada pela análise de Pearson. Em junho/2015 o primeiro e segundo componentes principais das análises de PCA explicaram mais de 90% da variabilidade total de dados (Figura 2).

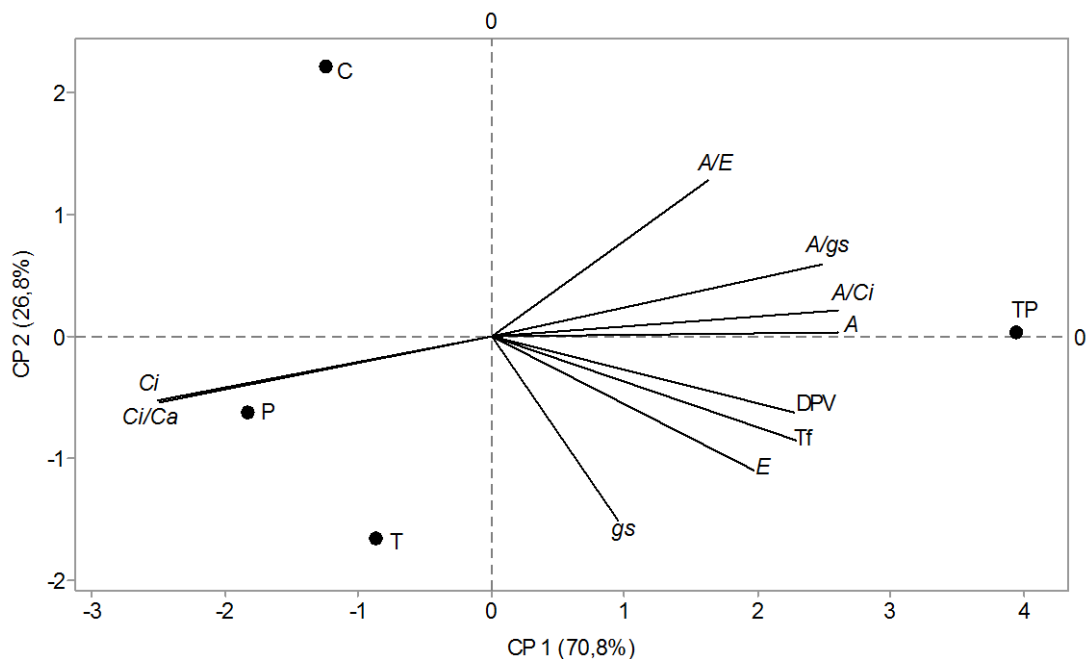


Figura 2: Análise dos componentes principais (PCA) entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO₂ (*A*), condutância estomática (*g_s*), concentração intercelular de CO₂ (*C_i*), transpiração (*E*), razão entre concentrações de CO₂ intra e extracelular (*C_i/C_a*), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (*T_f*), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (*A/g_s*), eficiência de carboxilação (*A/C_i*) e eficiência do uso da água (*A/E*) e os tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) do mês de novembro/2015 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.

Nesse período de análise das trocas gasosas ocorreram correlações positivas significativas entre *A* e *A/C_i*; *C_i* e *C_i/C_a*; *E* e *T_f*; *A/g_s* e *A/C_i*. Já as correlações negativas significativas ocorreram entre *A/g_s*, *A/C_i* e *C_i*; *A/g_s*, *A/C_i* e *C_i/C_a* (Tabela 2).

Tabela 2: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO₂ (*A*), condutância estomática (*g_s*), concentração intercelular de CO₂ (*C_i*), transpiração (*E*), razão entre concentrações de CO₂ intra e extracelular (*C_i/C_a*), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (*T_f*), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (*A/g_s*), eficiência de carboxilação (*A/C_i*) e eficiência do uso da água (*A/E*) do mês de novembro/2015 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.

	<i>A</i>	<i>g_s</i>	<i>C_i</i>	<i>E</i>	DPV	<i>T_f</i>	<i>C_i/C_a</i>	<i>A/g_s</i>	<i>A/C_i</i>	<i>A/E</i>
<i>A</i>	1	0,648	0,079	0,288	0,244	0,166	0,084	0,080	0,006	0,361
<i>g_s</i>	0,352	1	0,969	0,118	0,407	0,217	0,981	0,991	0,752	0,506
<i>C_i</i>	-0,921	-0,031	1	0,510	0,284	0,355	0,000	0,003	0,044	0,180
<i>E</i>	0,712	0,882	-0,490	1	0,118	0,019	0,520	0,553	0,360	0,930
DPV	0,757	0,593	-0,716	0,882	1	0,090	0,289	0,336	0,270	0,806
<i>T_f</i>	0,834	0,783	-0,645	0,981*	0,910	1	0,364	0,390	0,223	0,875
<i>C_i/C_a</i>	-0,916	-0,019	1,000**	-0,480	-0,711	-0,636	1	0,003	0,048	0,175
<i>A/g_s</i>	0,920	-0,009	-0,997**	0,448	0,664	0,610	-0,997**	1	0,043	0,145
<i>A/C_i</i>	0,994**	0,248	-0,956*	0,640	0,730	0,777	-0,952*	0,957*	1	0,283
<i>A/E</i>	0,639	-0,494	-0,820	-0,070	0,195	0,125	-0,825	0,855	0,717	1

Sendo correlações significativas: * ($p < 0,05$) e ** ($p < 0,01$)

Em fevereiro/2016 o primeiro e segundo componentes principais das análises de PCA explicaram mais de 80% da variabilidade total de dados (Figura 3).

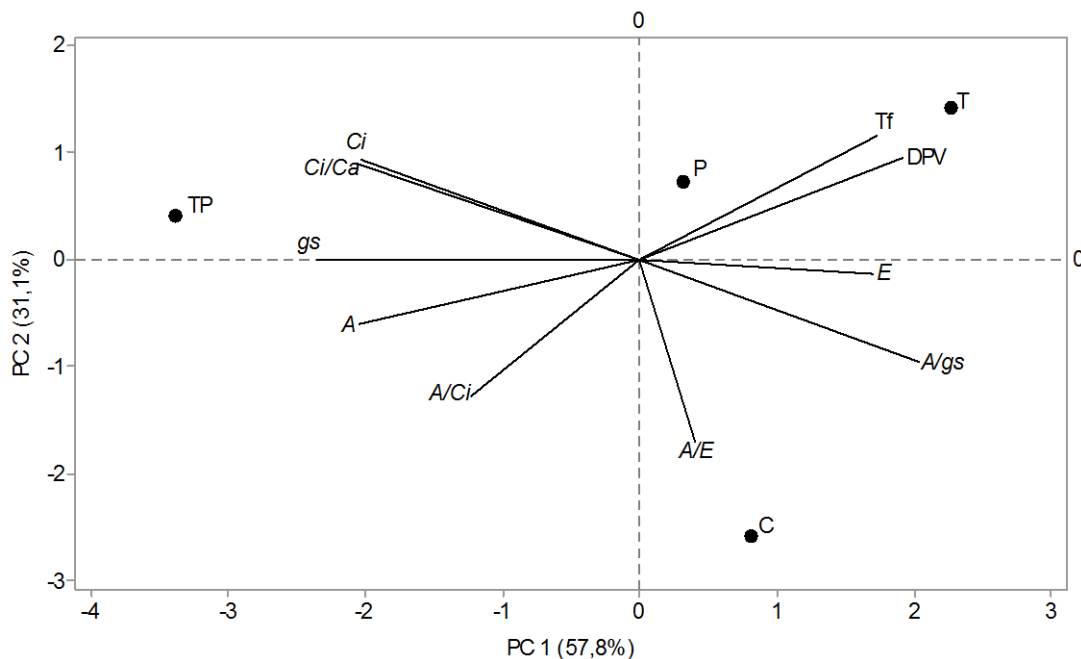


Figura 3: Análise dos componentes principais (PCA) entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO_2 (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO_2 intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) e os tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) do mês de fevereiro/2016 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.

Nesse período de análise das trocas gasosas, correlações positivas significativas ocorreram entre C_i e C_i/C_a ; DPV e T_f , enquanto que correlações negativas significativas ocorreram entre C_i ; C_i/C_a e A/g_s (Tabela 3).

Tabela 3: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO₂ (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO₂ intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) do mês de fevereiro/2016 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.

	A	g_s	C_i	E	DPV	T_f	C_i/C_a	A/g_s	A/C_i	A/E
A	1	0,082	0,457	0,715	0,248	0,269	0,434	0,450	0,132	0,908
g_s	0,918	1	0,173	0,463	0,275	0,350	0,158	0,170	0,397	0,792
C_i	0,543	0,827	1	0,367	0,614	0,745	0,000	0,000	0,946	0,343
E	-0,285	-0,537	-0,633	1	0,293	0,378	0,369	0,383	0,976	0,958
DPV	-0,752	-0,725	-0,386	0,707	1	0,010	0,596	0,621	0,325	0,558
T_f	-0,731	-0,650	-0,256	0,623	0,990**	1	0,725	0,751	0,273	0,439
C_i/C_a	0,566	0,842	1,000**	-0,631	-0,404	-0,275	1	0,000	0,918	0,359
A/g_s	-0,550	-0,830	-1,000**	0,617	0,379	0,249	-1,000**	1	0,937	0,338
A/C_i	0,868	0,604	0,054	0,025	-0,675	-0,727	0,082	-0,063	1	0,495
A/E	0,092	-0,208	-0,657	0,042	-0,442	-0,561	-0,641	0,662	0,505	1

Sendo correlações significativas: * ($p < 0,05$) e ** ($p < 0,01$)

Para as análises de trocas gasosas realizadas em junho/2016, o primeiro e segundo componentes principais das análises de PCA explicaram mais de 90% da variabilidade total de dados (Figura 4).

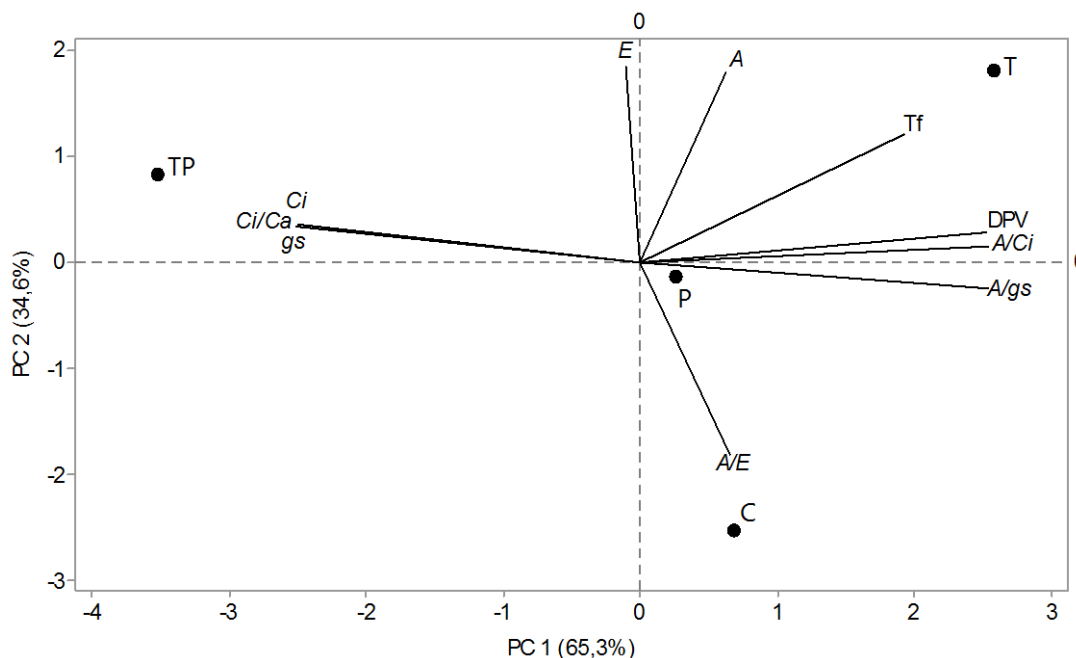


Figura 4: Análise dos componentes principais (PCA) entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO₂ (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO₂ intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) e os tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) do mês de junho/2016 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.

Nesse período de análise das trocas gasosas, correlações positivas significativas ocorreram entre A e E ; C_i , C_i/C_a e g_s ; C_i e C_i/C_a ; A/C_i , A/g_s e DPV ; A/C_i e A/g_s , enquanto que correlações negativas significativas ocorreram entre A/g_s , A/C_i e g_s ; DPV , A/g_s , A/C_i e C_i ; E e A/E ; A/g_s e A/C_i e C_i/C_a (Tabela 4).

Tabela 4: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO_2 (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO_2 intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) do mês de junho/2016 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.

	A	g_s	C_i	E	DPV	T_f	C_i/C_a	A/g_s	A/C_i	A/E
A	1	0,941	0,941	0,046	0,603	0,179	0,945	0,887	0,672	0,126
g_s	-0,059	1	0,000	0,775	0,062	0,382	0,000	0,002	0,039	0,568
C_i	-0,059	1,000**	1	0,773	0,061	0,383	0,000	0,002	0,040	0,566
E	0,954**	0,225	0,227	1	0,884	0,375	0,769	0,829	0,949	0,026
DPV	0,397	-0,939	-0,939*	0,117	1	0,152	0,063	0,045	0,006	0,901
T_f	0,821	-0,618	-0,617	0,625	0,848	1	0,386	0,341	0,191	0,558
C_i/C_a	-0,055	1,000**	1,000**	0,231	-0,938	-0,614	1	0,002	0,041	0,563
A/g_s	0,113	-0,999**	-0,998**	-0,171	0,955*	0,659	-0,998**	1	0,025	0,617
A/C_i	0,329	-0,962*	-0,961*	0,052	0,994**	0,809	-0,959*	0,975*	1	0,831
A/E	-0,874	-0,433	-0,434	-0,974*	0,099	-0,442	-0,437	0,383	0,170	1

Sendo correlações significativas: *($p < 0,05$) e **($p < 0,01$)

Em novembro/2016 o primeiro e segundo componentes principais das análises de PCA explicaram mais de 80% da variabilidade total de dados (Figura 5).

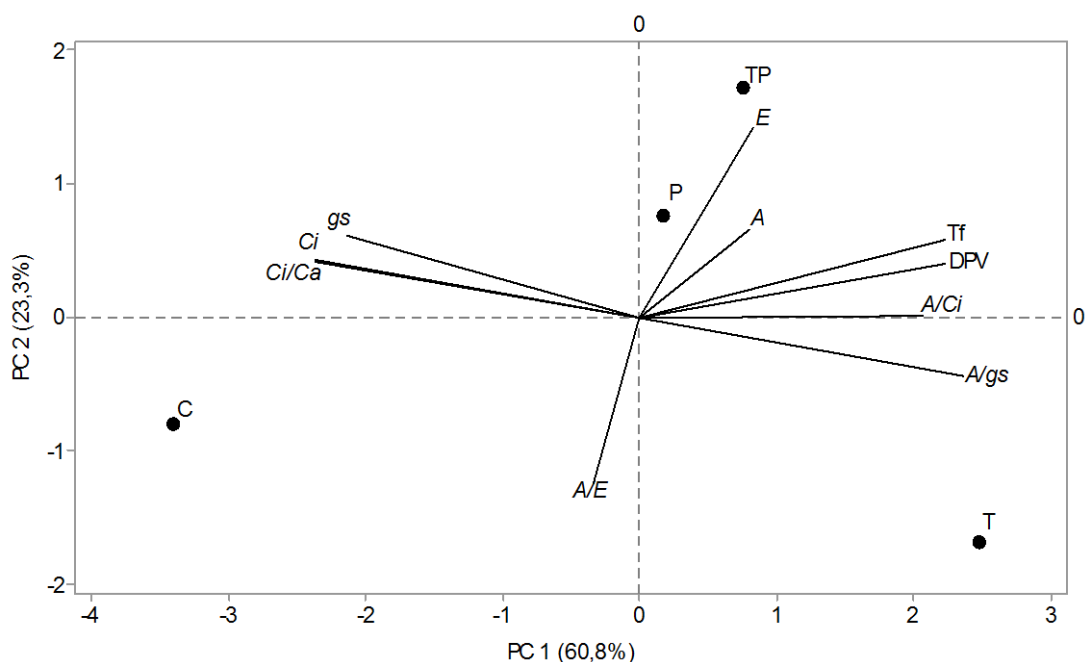


Figura 5: Análise dos componentes principais (PCA) entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO₂ (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO₂ intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) e os tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) do mês de novembro/2016 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.

Nesse período de análise das trocas gasosas, correlações positivas significativas ocorreram entre C_i e C_i/C_a ; DPV e T_f , enquanto que as correlações negativas significativas ocorreram entre C_i e A/g_s ; C_i/C_a e A/g_s (Tabela 5).

Tabela 5: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis fotossintéticas: Assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO₂ (C_i), transpiração (E), razão entre concentrações de CO₂ intra e extracelular (C_i/C_a), déficit de pressão e vapor (DPV), temperatura da folha (T_f), eficiência intrínseca do uso da água considerando o mecanismo estomático (A/g_s), eficiência de carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) do mês de novembro/2016 dos indivíduos de *Allagoptera arenaria*.

	A	g_s	C_i	E	DPV	T_f	C_i/C_a	A/g_s	A/C_i	A/E
A	1	0,852	0,804	0,361	0,880	0,698	0,816	0,788	0,266	0,922
g_s	0,148	1	0,060	0,868	0,225	0,321	0,056	0,066	0,443	0,956
C_i	-0,197	0,940	1	0,931	0,205	0,239	0,000	0,000	0,194	0,905
E	0,639	0,132	-0,069	1	0,504	0,365	0,940	0,934	0,629	0,283
DPV	0,120	-0,775	-0,795	0,497	1	0,019	0,206	0,217	0,427	0,471
T_f	0,302	-0,679	-0,761	0,635	0,981*	1	0,242	0,248	0,343	0,456
C_i/C_a	-0,184	0,944	1,000**	-0,060	-0,794	-0,758	1	0,001	0,201	0,905
A/g_s	0,212	-0,934	-1,000**	0,066	0,783	0,752	-1,000**	1	0,183	0,887
A/C_i	0,734	-0,557	-0,806	0,371	0,573	0,657	-0,799	0,817	1	0,812
A/E	0,078	-0,044	-0,095	-0,717	-0,529	-0,544	-0,095	0,114	0,188	1

Sendo correlações significativas: *($p < 0,05$) e **($p < 0,01$)

4. DISCUSSÃO

A simulação do aumento de temperatura em 2 °C associado ao incremento do volume pluviométrico em 25 % contribuíram para o maior desempenho fotossintético de *A. arenaria* no presente estudo. Sabe-se que, a disponibilidade de água pode ser o principal fator que restringe o crescimento das plantas no ecossistema de restinga e pode influenciar a performance fisiológica das espécies nesse ambiente (REINERT et al., 1997; GESSLER et al., 2008). A temperatura, por sua vez é um dos fatores mais variáveis no ambiente e afeta muitos processos fisiológicos da planta, podendo ser considerada um fator limitante ou um estímulo em relação aos processos fisiológicos da planta (SHEN et al., 2008; VÍTOLO et al., 2012; TESKEY et al., 2015; URBAN et al., 2017). Essas duas variáveis ambientais combinadas no tratamento TP garantiram os maiores valores de assimilação líquida de CO₂ (*A*) nos meses de novembro/2015 e fevereiro/2016. Em contrapartida, o tratamento T apresentou o menor valor de *A* em fevereiro/2016, período em que foram registradas as maiores temperaturas média do ar e que pode ter contribuído para as menores taxas fotossintéticas. O mês de fevereiro/2016 foi precedido por um período maior volume de chuvas registradas para a região e nesse mês o tratamento P assim como TP também apresentou o maior valor de *A*, contudo não foi significativamente diferente do controle.

Na amostragem do mês de junho/2015, a variável de trocas gasosas que pode ter contribuído para os maiores valores de *A* nos indivíduos de *A. arenaria* no tratamento TP foi, principalmente, A/C_i . Tendo em vista que a atividade fotossintética pode ser afetada por fatores não-estomáticos, ou seja, fatores que têm origem bioquímica, Konrad e outros (2005) consideram que a eficiência de carboxilação dada pela razão A/C_i pode ser usada para avaliar esse processo. Sendo assim, os maiores valores de *A* e A/C_i em TP podem indicar que o aumento da oferta de carbono interno favoreceu a atividade carboxilase da Rubisco em detrimento da oxigenase, aumentando a assimilação de carbono nos indivíduos de *A. arenaria* nesse tratamento (LARCHER, 2006).

Da mesma forma, em fevereiro/2016 foi possível observar que o aumento de temperatura e volume pluviométrico também desencadeou maiores valores de *A* em TP. Uma das possíveis respostas dos indivíduos desse tratamento em relação ao controle foi o aumento da abertura estomática, que por sua vez aumentou a

transpiração e diminui a eficiência do uso da água. Segundo Jadoski e outros (2005) maiores valores de g_s contribuem para influxo de carbono pra folha, favorecendo a atividade fotossintética. Menores valores de DPV podem ter favorecido a condutância estomática em TP. Sabe-se que, o mecanismo de abertura e fechamento estomático pode estar associado a fatores ambientais, principalmente os que promovem aumento no déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (LEAKEY et al., 2003; WAN et al., 2004; UDDLING et al., 2004; ANGELOCCI et al., 2004; MOTT; PEAK, 2013). Em trabalho com florestas tropicais, Pitman (1996) mostrou que a variável ambiental mais importante para o controle estomático foi o potencial hídrico do solo, seguido da temperatura que também pode ter efeito na abertura estomática. As variáveis g_s e E contribuíram significativamente para os maiores valores de A observados em TP. A evaporação da água da superfície foliar pode diminuir significativamente T_f . Enquanto os estômatos permanecerem abertos, o resfriamento evaporativo pode mitigar o efeito negativo do aumento de temperatura e pode favorecer a fotossíntese, rendimento e sobrevivência da planta (AMEYE et al., 2012; URBAN et al., 2015). A manutenção de T_f através da regulação de E minimizou o estresse por alta temperatura em TP indicando que as plantas regularam a perda de água e até mesmo ajustaram sua arquitetura para obter o melhor efeito de resfriamento (CRAWFORD et al., 2012).

Contudo, o aumento de temperatura isoladamente resultou nos menores valores de A em fevereiro/2016 nos indivíduos de *A. arenaria* submetidos ao tratamento T (Tabela 1). Nesse período, o aumento da temperatura pode ter elevado as taxas de DPV que, conseqüentemente, influenciou o mecanismo de abertura e fechamento estomático, aumentando a resistência à entrada de CO_2 e, dessa forma, levando a diminuição da concentração interna de CO_2 . Essa redução do fluxo normal de CO_2 em direção ao sítio de carboxilação da Rubisco pode ser um dos principais fatores responsáveis pela diminuição da fotossíntese para esse tratamento, relação essa corroborada por Machado e outros (2002), Mohotti e Lawlor (2002), Dias e Marengo (2007), Doughty e Goulden (2008), Bosco e outros (2009) e Marengo e Lopes (2009). Sabe-se que, a menor concentração de carbono interno pode favorecer o processo de fotorrespiração, decorrente da maior atividade oxigenasse da Rubisco. Dessa forma, a fotorrespiração está diretamente relacionada ao efeito do DPV na redução de g_s e C_i na folha (MEDLYN et al., 2002; PONS; WELSCHEN, 2003; MARENCO et al., 2006; DIAS; MARENCO, 2007;

MARENCO et al., 2014). Neste caso, pode-se inferir que a disponibilidade de água e temperatura se apresentam com um dos fatores responsáveis pelo processo que regula a abertura ou fechamento dos estômatos (BOSCO et al., 2009). Alguns trabalhos confirmam tal resultado e mostram que a fotossíntese pode ser afetada pelo aumento da temperatura de várias formas, alterando os processos bioquímicos, causando danos no aparato fotoquímico, desnaturando enzimas envolvidas na fixação de CO₂, diminuindo a difusão de CO₂ no mesófilo foliar e aumentando a resistência dos estômatos ao influxo de CO₂ (BERNACCHI et al., 2001; MEDLYN et al., 2002; PONS; WELSCHEN, 2003).

Gessler e outros (2008) em trabalho de campo com três espécies de restinga em período seco, observou que *A. arenaria* apresentou taxa assimilatória líquida de CO₂ máxima de 8 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, com valores de condutância estomática baixa durante o dia e que apesar do controle estomático e da condutividade reduzida, a taxa transpiratória foi alta, resultando em maior perda de água proporcionalmente aos valores da taxa assimilatória líquida de CO₂. Neste estudo as maiores taxas assimilatórias de CO₂, observadas para TP, também foram acompanhadas de maior transpiração, contudo a condutância estomática também foi alta devido ao incremento de volume pluviométrico nesse tratamento que pode ter garantido maior disponibilidade de água para as raízes dos indivíduos de *A. arenaria*.

O tratamento P apresentou os maiores valores significativos de *A* junto com TP em fevereiro/2016, mês precedido por maior precipitação. Nesse período a taxa de assimilação líquida de CO₂ apresentou valores significativamente maiores em comparação ao tratamento T, decorrentes, principalmente das maiores taxas transpiratórias. Segundo Urban e outros (2017) o processo de resfriamento evaporativo das folhas proporcionado pela transpiração pode ter um efeito positivo sobre a fotossíntese, além de desempenhar um papel importante na regulação diurna de temperatura. Na área de estudo, *A. arenaria* cresce solitariamente sobre a areia nua da restinga e parece ser particularmente adaptada à alta irradiância neste ambiente. Isso se deve, principalmente a um amplo suprimento hídrico das águas subterrâneas da qual as raízes alcançam, sendo o principal suporte que justifique o sucesso adaptativo dessa espécie nesse ambiente (GESSLER et al., 2008). Nas condições estressantes na restinga, o fator de água pode ser decisivo de forma que, para *A. arenaria* as raízes subterrâneas profundas podem sustentar seu desempenho durante a estação seca (GESSLER et al., 2008).

Em junho/2016 os resultados obtidos para os indivíduos de *A. arenaria* no tratamento T, maiores valores de temperatura foliar e DPV e decréscimos em g_s , também foram relatados para diversas plantas em condições de altas temperaturas, incluindo as das florestas tropicais (PONS; WELSCHEN, 2003). Nesse mesmo mês, os indivíduos do controle utilizaram a água de forma mais eficiente, apresentando os maiores valores da razão A/E . O que indica que maior quantidade de CO_2 foi absorvida no controle em detrimento da menor perda de água, quando comparado aos demais tratamentos que apresentaram as maiores taxas de transpiração, o que leva a inferir que houve maior perda de água na respiração e conseqüentemente menor uso eficiente da água. A elevação da temperatura, aumenta a diferença de pressão de vapor entre o ar e a folha facilitando a transpiração e elevando a taxa transpiratória (LUTTGE, 1997). Lima e outros (2010) informam que o comportamento estomático determina a demanda transpiratória das folhas que estão sujeitas a perda de H_2O para o ambiente na forma de vapor de água. Porém, não foi possível relacionar a condutância estomática com o fato descrito.

Em novembro/2016 poucas variáveis de trocas gasosas apresentaram diferenças significativas entre seus valores, o que leva a inferir a ocorrência de um processo de aclimação de *A. arenaria* às condições de temperatura e disponibilidade de água impostas. Dessa forma é possível falar na probabilidade de existência de compensações entre as variáveis de trocas gasosas que permitiram que as taxas de assimilação de CO_2 não apresentassem diferenças entre tratamentos em novembro/2016 indicando aclimação desses indivíduos após esse período. Plantas de diversas espécies tem demonstrado capacidade de aclimação à temperatura durante o crescimento e que a aclimação à altas temperaturas envolve mecanismos que aumentam a capacidade do transporte de elétrons, a síntese de enzimas tolerantes ao calor e a diminuição na respiração (YAMORI et al., 2014).

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi utilizada para reduzir a dimensão do conjunto de dados e encontrar as principais variáveis fotossintéticas correlacionadas ou não que contribuíram para cada tratamento durante os meses de amostragem. A figura 2 fornece o gráfico das relações entre as variáveis fotossintéticas avaliadas em novembro/2015 e dos tratamentos. Os eixos principais da PCA separam os tratamentos C, P e T de TP. A composição do primeiro eixo

mostra a contribuição das variáveis A e A/C_i para o tratamento TP, a razão A/C_i foi a principal variável que correlacionou-se positivamente com A (Tabela 2). Sabe-se que, a eficiência de carboxilação da Rubisco, pode estar relacionada tanto a disponibilidade de ATP e NADPH quanto ao substrato para a Rubisco o que favorece a assimilação de CO_2 na folha.

Em fevereiro/2016 os principais eixos da PCA também separaram os tratamentos C, P e T de TP (Figura 3). As variáveis que contribuíram positivamente para TP foram g_s , A , C_i/C_a e C_i , sendo que, a variável g_s correlacionou-se positivamente com A (Tabela 3). Dessa forma, é possível inferir que a abertura estomática permitiu maior influxo de CO_2 para o mesofilo foliar garantindo taxas satisfatórias de assimilação líquida de CO_2 . O inverso pode ser observado para o tratamento T, na qual teve uma maior contribuição dos parâmetros T_f e DPV. Altas temperaturas podem elevar o DPV e, dessa forma, diminuir a condutância estomática reduzindo as taxas fotossintéticas. Isso pode ser confirmado pela correlação de Pearson que mostra correção positiva significativa entre T_f e DPV (Tabela 3).

Na amostragem de junho/2016, o tratamento TP teve maior influência das variáveis g_s , C_i/C_a e C_i , (Figura 4). Nesse período é possível observar que g_s correlacionou-se positivamente com C_i corroborando a afirmativa de que quanto maior a abertura estomática maior o influxo de CO_2 para o mesofilo foliar favorecendo a relação C_i/C_a . Para o tratamento T a maior contribuição foi da variável T_f e para C de A/E como já descrito (Tabela 4).

Em novembro/2016 as variáveis g_s , C_i e C_i/C_a contribuíram para o tratamento P indicando o efeito da condutância estomática nos influxos de CO_2 na folha (Figura 5). A análise da correlação de Person mostra correlações positivas entre C_i e C_i/C_a (Tabela 5). Os tratamentos P e TP tiveram maior contribuição de E indicando maiores taxas transpiratórias dos indivíduos de *A. arenaria* nos tratamentos que tiveram o incremento do volume pluviométrico.

De forma geral, a interação entre as variáveis fotossintéticas se comportaram de maneira particular para cada mês de amostragem de dados, sendo possível afirmar que nos meses de novembro/2015, fevereiro/2016 e junho/ 2016 houve a maior variação entre os parâmetros de trocas gasosas, o que pode ter garantido o melhor desempenho do tratamento TP nesse período. Em novembro/2016 houve poucas alterações significativas entre as variáveis fotossintéticas indicando que

houve uma compensação entre essas variáveis a fim de possibilitar a aclimação dos indivíduos de *A. arenaria* às condições de aumento de temperatura e volume pluviométrico dos tratamentos. A maioria das plantas pode desenvolver a capacidade de aclimatar-se às variações de temperatura e precipitação (SEARLE et al., 2011), regulando a condutância estomática (AASAMAA; SÖBER, 2011) e ajustando o aparato fotossintético para absorção adequada, transferência e utilização da energia disponível (GONÇALVES et al., 2010).

5. CONCLUSÕES

Alterações climáticas que envolvem aumento de temperatura em 2 °C e volume pluviométrico em torno de 25 % parecem ter garantido um maior desempenho fotossintético em *A. arenaria* quando analisadas em conjunto. Quando as variáveis temperatura e pluviosidade foram avaliadas isoladamente, essa tendência não foi observada. O aumento de temperatura em 2 °C ocasionou a diminuição atividade fotossintética de *A. arenaria* aos 8 meses de experimento, o que não foi observado quando os indivíduos foram expostos ao aumento do volume pluviométrico em 25 % isoladamente. Assim, os resultados desse trabalho sugerem possível processo de aclimação após o tempo de exposição, minimizando os efeitos dos tratamentos impostos.

6. REFERÊNCIAS

AASAMAA, K.; SÖBER, A. Stomatal sensitivities to changes in leaf water potential, air humidity, CO₂ concentration and light intensity, and the effect of abscisic acid on the sensitivities in six temperate deciduous tree species. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, n. 1, p. 72-78, 2011.

AMEYE, M.; WERTIN, T.M.; BAUWERAERTS, I.; MCGUIRE, M.A.; TESKEY, R.O.; STEPPE, K. The effect of induced heat waves on *Pinus taeda* and *Quercus rubra* seedlings in ambient and elevated CO₂ atmospheres. **The New Phytologist**, v. 196, n. 2, p. 448–461, 2012.

ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; COELHO FILHO, M.A.; MARIN, F.R. Measurements of net radiation absorbed by isolated acid lime trees (*Citrus latifolia* Tanaka). **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v.79, n. 5, p.699-703, 2004.

ARAUJO, 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. (Ed.). **Pesquisas de longa duração na Restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação**. São Carlos: RiMa, p. 59-76, 2004.

BEIER, C. Climate change and ecosystem function - full-scale manipulations of CO₂ and temperature. **New Phytologist**, v. 162, n. 2, p. 243-251, 2004.

BERNACCHI, C.J.; SINGSAAS, E.L.; PIMENTEL C.; PORTIS JR, A.R.; LONG, S.P. Improved temperature response functions for models of Rubisco-limited photosynthesis. **Plant, Cell & Environment**, v. 24, n. 2, p. 253–259, 2001.

BERRY, J.A.; BEERLING, D.J.; FRANKS, P.J. Stomata: key players in the earth system, past and present. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 13, n. 3, p. 233-240, 2010.

BOECK, H.J. DE; GROOTE, T. DE; NIJS I. Leaf temperatures in glasshouses and open-top chambers. **New Phytologist**, v. 194, n. 4, p. 1155-1164, 2012.

BONAN, G.B. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1444-1449, 2008.

BORJIGIDAI, A.; HIKOSAKA, K.; HIROSE, T.; HASEGAWA, T.; OKADA, M.; KOBAYASHI, K. Seasonal changes in temperature dependence of photosynthetic rate in rice under a free-air CO₂ enrichment. **Annals of Botany**, v. 97, n. 4, p. 549-557, 2006.

BOSCO, M.R.O.; OLIVEIRA, A.B.; HERNANDEZ, F.F.F.; LACERDA, C. F. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista Revista Ceres**, v. 56, n. 3, p. 296-302, 2009.

CEPEMAR. **Plano de manejo do Parque Estadual de Itaúnas**. 2004. Disponível em: <http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp?pagina=16707> Acesso em: 11 jan. 2017.

CHANG, J.D.; MANTRIC, N.; SUN, B.; JIANG, L.; CHENE, P.; JIANG B.; JIANG Z.; ZHANG, J.; SHEN J.; LU H.; LIANG, Z. Effects of elevated CO₂ and temperature on *Gynostemma pentaphyllum* physiology and bioactive compounds. **Journal of Plant Physiology**, v. 196-197, p. 41-52, 2016.

COATES, J.C.; MOODY, L.A.; SAIDI, Y. Plants and the earth system - past events and future challenges. **New Phytologist**, v. 189, n. 2, p. 370–373, 2011.

CRAWFORD, A.J.; MCLACHLAN, D.H.; HETHERINGTON, A.M.; FRANKLIN, K.A. High temperature exposure increases plant cooling capacity. **Current Biology**, v. 22, n. 10, p. 396–397, 2012.

DAVIS, M.B.; SHAW, R.G.; ETTERSON, J.R. Evolutionary Responses To Changing Climate. **Ecology**, v. 86, n. 7, p. 1704–1714, 2005.

DIAS, D.P.; MARENCO, R.A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 305-311, 2007.

DILLEN, S.Y.; DE BEECK, M.O.; HUFKENS, K.; BUONANDUCI, M.; PHILLIPS, N. Seasonal patterns of foliar reflectance in relation to photosynthetic capacity and color index in two co-occurring tree species, *Quercus rubra* and *Betula papyrifera*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 160, p. 60-68, 2012.

DOUGHTY, C.E.; GOULDEN, M.L. Are tropical forests near a high temperature threshold ? **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. G1, p. 1-12, 2008.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBO, M.; BOTA, J.; GALMES, J.; HENKLE, M.; MARTINEZ-CANELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New Phytologist**, v.172, n. 1, p. 73-82, 2006.

FLEXAS, J.; CARRIQUÍA, M.; COOPMANB, R.E.; GAGOC, J.; GALMÉSA, J.; MARTORELLA, S.; MORALES, F.; DIAZ-ESPEJOE, A. Stomatal and mesophyll conductances to CO₂ in different plant groups: Underrated factors for predicting leaf photosynthesis responses to climate change ? **Plant Science**, v. 226, p. 41–48, 2014.

GESSLER, A.; NITSCHKE, R.; MATTOS, E.A.; ZALUAR, H.L.T.; SCARANO, F.R.; RENNENBERG, H.; LÜTTGE, U. Comparison of the performance of three different ecophysiological life forms in a sandy coastal resting ecosystem of SE-Brazil: a nodulated N₂-fixing C₃- shrub (*Andira legalis* (Vell.) Toledo, a CAM- shrub (*Clusia hilariana* Schtdl.) and a tap root C₃ hemicryptophyte (*Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Ktze.). **Trees**, v. 22, p. 105-119, 2008.

GONÇALVES, J.F.C.; SILVA, C.E.; GUIMARÃES, D.G.; BERNARDES, R.S. Análise dos Transientes da Fluorescência da Clorofila a de Plantas Jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazônica**, v.40, n. 1, p.89-98, 2010.

HAN, Q.; KAWASAKI, T.; NAKANO, T.; CHIBA, Y. Spatial and seasonal variability of temperature responses of biochemical photosynthesis parameters and leaf nitrogen content within a *Pinus densiflora* crown. **Tree Physiology**, v. 24, n. 7, p. 737-744, 2004.

HAN, Q.; KAWASAKI, T.; NAKANO, T.; CHIBA, Y. Leaf-age effects on seasonal variability in photosynthetic parameters and its relationships with leaf mass per area and leaf nitrogen concentration within crown. **Tree Physiology**, v. 28, n. 4, p. 551-558, 2008.

HÄNEL, S.; TIELBÖRGER, K. Phenotypic response of plants to simulated climate change in a long-term rain-manipulation experiment: a multi-species study. **Oecologia**, v. 177, n. 4, p. 1015-1024, 2015.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2017, Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 21 jan. 2017.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J.; MASTRANDREA, M.D.; BILIR T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE, L.L. Cambridge/New York: Cambridge University Press/ IPCC, 2014.

JADOSKI, S.O.; KLAR, A.E.; SALVADOR, E.D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. **Ambiência**, v. 1, n. 1, p. 11-19, 2005.

KNAPP, A.K.; FAY, P.A.; BLAIR, J.M.; COLLINS S.L.; SMITH, M.D.; CARLISLE, J.D.; HARPER, C.W.; DANNER, B.T.; LET, M.S.; MACARRON J.K. Rainfall Variability, Carbon Cycling, and Plant Species Diversity in a Mesic Grassland. **Science**, v. 298, n. 5601, p. 2202–2205, 2002.

KNAPP, A.K.; BEIER, C.; BRISKE, D.D.; CLASSEN, A.T.; LUO, Y.; REICHSTEIN, M.; SMITH, M.D.; SMITH, S.D.; BELL, J.E.; FAY, P.A.; HEISLER, J.L.; LEAVITT, S.W.; SHERRY, R.; SMITH, B.; WENG, E. Consequences of More Extreme Precipitation Regimes for Terrestrial Ecosystems. **BioScience**, v. 58, n. 9, p. 811–821, 2008.

KNAPP, A.K.; HOOVER, D.L.; WILCOX, K.R.; AVOLIO, M.L.; KOERNER, S.E.; LA PIERRE, K.J.; LOIK, M.E.; LUO, Y.; SALA, O.E.; SMITH, M.D. Characterizing differences in precipitation regimes of extreme wet and dry years: implications for climate change experiments. **Global Change Biology**, v. 21, n. 7, p. 2624–2633, 2015.

KONRAD, M.L.F.; DA SILVA, J.A.B.; FURLANI, P.R.; MACHADO, E.C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia, Campinas**, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006.

LEAKEY, A.D.B.; PRESS, M.C.; SCHOLLES, J.D. High-temperature inhibition of photosynthesis is greater under sunflecks than uniform irradiance in a tropical rain forest tree seedling. **Plant, Cell and Environment**, v.26, n. 10, p. 1681–1690, 2003.

LEVINE, J.M.; MCEACHERN, A.K.; COWAN, C. Seasonal timing of first rain storms affects rare plant population dynamics. **Ecology**, v. 92, n. 12, p. 2236-2247, 2011.

LIMA, M.A.; BEZERRA, M.A.; GOMES FILHO, E.; PINTO, C. M.; ENÉAS FILHO, J. Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 654-663, 2010.

LIN, Y.S.; MEDLYN, B.E.; DE KAUWE M.G.; ELLSWORTH, D.S. Biochemical photosynthetic responses to temperature: how do interspecific differences compare with seasonal shifts? **Tree Physiology**, v. 33, n. 8, p. 793–806. 2013.

LLOYD, J.; FARQUHAR, G.D. Effects of rising temperatures and [CO₂] on the physiology of tropical forest trees. **Biological sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1811-1817, 2008.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.R.; KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora brasileira: Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010.

LUTTGE, U. Interaction of stress factors and the midday depression in plants with C3: photosynthesis. **Physiological Ecology of Tropical Plants**, v.35, p. 122-124, 1997.

MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L.; GOMES, M. DE M. DE A.; HABERMANN, G. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranjeira 'Valência'. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 53-58, 2002.

MARENCO, R.A.; SIEBKE, K.; FARQUHAR, G.D.; BALL, M.C. Hydraulically based stomatal oscillations and stomatal patchiness in *Gossypium hirsutum*. **Functional Plant Biology**, v. 33, n. 12, p. 1103-1113, 2006.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Editora UFV, 2009.

MARENCO, R.A.; ANTEZANA-VERA, S.A.; GOUVÊA, P.R.D.S.; CAMARGO, M.A.B.; OLIVEIRA, M.F.D.; SANTOS, J.K.D.S. Fisiologia de espécies florestais da

Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, v. 61, p. 786-799, 2014.

MEDIAVILLA, S.; GONZÁLEZ-ZURDO, P.; BABIANO, J.; ESCUDERO, A. Responses of photosynthetic parameters to differences in winter temperatures throughout a temperature gradient in two evergreen tree species. **European Journal of Forest Research**, v. 135, n. 5, p. 871-883, 2016.

MEDLYN, B.E.; DREYER, E.; ELLSWORTH, D.; FORSTREUTER, M.; HARLEY, P.C.; KIRSCHBAUM, M.U.F.; LE ROUX, X.; MONTPIED, P.; STRASSEMAYER, J.; WALCROFT, A.; WANG, K.; LOUSTAU, D. Temperature response of parameters of a biochemically based model of photosynthesis. II. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 9, p. 1167-1179, 2002.

MENEZES, L.F.T. DE; PUGNAIRE, F.I.; MATAALLANA, G.; NETTESHEIM, F.C.; CARVALHO, D.C. DE; MATTOS, E.A. DE. Disentangling plant establishment in sandy coastal systems: biotic and abiotic factors that determine *Allagoptera arenaria* (Arecaceae) germination. **Acta Botanica Brasilica**, versão on line, 2017.

MIRANDA, J.D., ARMAS, C., PADILLA, F.M.; PUGNAIRE, F.I. Climatic change and rainfall patterns: effects on semi-arid plant communities of the Iberian Southeast. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 12, p. 1302–1309, 2011.

MOHOTTI, A.J.; LAWLOR, D.W. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 367, p. 313-322, 2002.

MORAES R.M.; MARTINS, R.C. **Allagoptera in Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2017, Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15666>. Acesso em: 19 out. 2017.

MOTT, K.A.; PEAK, D. Testing a vapour-phase model of stomatal responses to humidity. **Plant, Cell & Environment**, v. 36, n. 5, p. 936–944, 2013.

NIPPERT, J.B.; KNAPP, A.K.; BRIGGS, J.M. Intra-annual rainfall variability and grassland productivity: can the past predict the future? **Plant Ecology**, v. 184, n. 1, p. 65-71, 2006.

NORBY, R.J.; LUO, Y. Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO₂ and global warming in a multi-factor world. **New Phytologist**, v. 162, n. 2, p. 281-293, 2004.

PITMAN, J.I. Ecophysiology of tropical dry evergreen forest, Thailand: measured and modeled stomatal conductance of *Hopea ferrea*, a dominant canopy emergent. **Journal of Applied Ecology**, v. 33, n. 6, p. 1366-1378, 1996.

PONS, T.L.; WELSCHEN, R.A. Midday depression of net photosynthesis in the tropical rainforest tree *Eperua grandiflora*: contributions of stomatal and internal conductances, respiration and Rubisco functioning. **Tree Physiology**, v. 23, n. 14, p. 937-947, 2003.

PRITCHARD, S.G.; AMTHOR, J.S. Crops and environmental change: an introduction to effects of global warming, increasing atmospheric CO₂ and O₃ concentrations, and soil salinization on crop physiology and yield. **Food Products Press**, v. 42, n. 7, 421p., 2005.

RAN1 - **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**, Base científica das mudanças climáticas, 2013. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol1.pdf. Acesso em: 21 ago. 2017.

REINERT, F.; ROBERTS, A.; WILSON, J.M.; DERIBAS, L.; CARDINOT, G.; GRIFFITH, H. Gradation in nutrient composition and photosynthetic pathways across the restinga vegetation of Brazil. **Plant Biology**, v. 110, n. 2, p. 135-142, 1997.

SAGE, R.F.; WAY, D.A.; KUBIEN, D.S. Rubisco, Rubisco activase, and global climate change. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 7, p. 1581-1595. 2008.

SCARANO, F.R.; DUARTE, H.M.; RIBEIRO, K.T.; RODRIGUES, P.J.F.P; BARCELLOS, E.M.B.; RANCO, A.C.; BRULFERT, J.; DELÉENS, E.; LÜTTGE, U. Four sites contrasting environmental stress in southeastern Brazil: relations of species, life form diversity, and geographic distribution to ecophysiological parameters. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 136, n. 4, p. 345-364, 2001.

SCARANO, F.R., DUARTE, H.M., FRANCO, A.C., GESSLER, A., MATTOS, E.A., RENNENBERG, H.; LÜTTGE, U. Physiological synecology of tree species in relation to geographic distribution and ecophysiological parameters at the Atlantic forest periphery in Brazil: an overview. **Trees Structure and Function**, v. 19, n. 5, p. 493-496, 2005.

SCARANO, F.R. Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rain forest. **Annals of Botany**, v. 90, n. 4, p. 517-524, 2002.

SEARLE, S.Y.; THOMAS, S.; GRIFFIN, K.L.; HORTON, T.; KORNFELD, A.; YAKIR, D.; HURRY, V.; TURNBULL, M.H. Leaf respiration and alternative oxidase in field-grown alpine grasses respond to natural changes in temperature and light. **New Phytologist**, v. 189, n. 4, p 1027–1039, 2011.

SHEN, J.H.; HENMI, T.; KAMIYA, N. Structure and function of photosystem II. In: Fromme, F. (Org). **Photosynthetic protein complexes, a structural approach**. Weinheim: Wiley-VCH, 2008. p. 83-106.

SPENCE, L.A.; LIANCOURT, P.; BOLDGIV B.; PETRAITIS, P.S.; CASPER B.B. Short-term manipulation of precipitation in Mongolian steppe shows vegetation influenced more by timing than amount of rainfall. **Journal of Vegetation Science**, v. 27, n. 2, p. 249–258, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TESKEY, R.; WERTIN, T.; BAUWERAERTS, I.; AMEYE, M.; MCGUIRE, M.A.; STEPPE, K. Responses of tree species to heat waves and extreme heat events. **Plant, Cell & Environment**, v. 38, n. 9, p. 699-1712, 2015.

TOMIOLO, S.; VAN DER PUTTEN, W.H.; TIELBÖRGER, K. Separating the role of biotic interactions and climate in determining adaptive response of plants to climate change. **Ecology**, v. 96, n. 5, p. 1298-1308, 2015.

UDDLING, J.; GÜNTHARDT-GOERG, M.S.; MATYSSEK, R.; OKSANEN, E.; PLEIJEL, H.; SELLDÉN, G.; KARLSSON, P.E. Biomass reduction of juvenile birch is more strongly related to stomatal uptake of ozone than to indices based on external exposure. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 28, p. 4709-4719, 2004.

URBAN, J.; INGWERS, M.W.; MCGUIRE, M.A.; TESKEY, R.O. Increase in leaf temperature opens stomata and decouples net photosynthesis from stomatal conductance in *Pinus taeda* and *Populus deltoides* x *nigra*. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 7, p. 1757–1767, 2017.

VÍTOLO, H.F.; SOUZA, G.M.; SILVEIRA, J.A.G. Cross-scale multivariate analysis of physiological responses to high temperature in two tropical crops with C3 and C4 metabolism. **Environmental and Experimental Botany**, v. 80, p. 54-62, 2012.

WALTHER, G.R.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T.J.C.; FROMENTIN, J.M.; HOEGH-GULDBERG, O.; BAIRLEIN, F. Ecological responses to recent climate change. **Nature**, v. 416, n. 6879, p. 389–395, 2002.

WAN, X.; LANDHÄUSSER, S.M.; ZWIAZEK, J.J.; LIEFFERS, V.J. Stomatal conductance and xylem sap properties of aspen (*Populus tremuloides*) in response to low soil temperature. **Physiologia Plantarum**, v. 122, n. 1, p. 79-85, 2004.

WELTZIN, J.F.; TISSUE, D.T. Resource pulses in arid environments - patterns of rain, patterns of life. **New Phytologist**, v. 157, n. 2, p. 171-173, 2003.

YAMORI, W.; HIKOSAKA, K.; WAY, D.A. Temperature response of photosynthesis in C₃, C₄, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. **Photosynthesis Research**, v. 119, n. 2:101-117, 2014.

YANG, H., LI, Y., WU, M., ZHANG, Z., LI, L.; WAN, S. Plant community responses to nitrogen addition and increased precipitation: the importance of water availability and species traits. **Global Change Biology**, v. 17, n. 9, p. 2936–2944, 2011.

**CAPITULO 3 – TRANSIENTES DA FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A DE
Allagoptera arenaria (ARECACEAE) COMO FERRAMENTA NO ESTUDO DE
MUDANÇAS CLIMÁTICAS: SIMULAÇÃO DO AUMENTO DE TEMPERATURA E
VOLUME PLUVIOMÉTRICO EM AMBIENTE DE RESTINGA**

Autores: Liliane Baldan Zani^{1*} • Antelmo Ralph Falqueto² • Luis Fernando Tavares de Menezes²

⁽¹⁾ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Departamento de Ciências Biológicas, Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, CEP 29075-910, Vitória, ES, Brasil.

⁽²⁾ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, CEP 29932-900, São Mateus, ES, Brasil.

*Autor para correspondência: lilianebzani@gmail.com

RESUMO

Compreender como as espécies respondem as mudanças no clima é fundamental contudo, ainda faltam informações do papel dos fatores climáticos específicos e suas interações para as respostas das mesmas. Neste trabalho utilizamos câmaras de topo aberto (*open top chambers* - OTC's) adaptadas e calhas coletoras de chuva para verificar os efeitos isolados e combinados de aumento de temperatura em 2 °C e volume pluviométrico em 25 % no transiente da fluorescência da clorofila *a* de *Allagoptera arenaria*. 40 indivíduos de *A. arenaria* em ambiente natural de restinga foram distribuídos em quatro tratamentos, ambiente aberto-controle (C), aumento do volume pluviométrico em 25 % (P), aumento de temperatura em 2 °C (T) e aumento de temperatura em 2 °C e volume pluviométrico em 25 % (TP). As amostragens foram realizadas nos meses de novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/2016. Os resultados mostraram que os efeitos do aumento de temperatura e chuva na fluorescência da clorofila *a* foram mais intensificados no mês de fevereiro/2016, período com as maiores temperaturas registradas. O tratamento T apresentou considerável redução nas respostas dos transientes da fluorescência da clorofila *a* e o aumento do volume pluviométrico contribuiu para amenizar os efeitos do aumento de temperatura no tratamento TP. Em P não foram observadas diferenças em relação ao controle. Com as mudanças climáticas é possível que, *A. arenaria* desenvolva mecanismos para sobreviver ao aumento de temperatura previstos e o aumento da precipitação pode ser um fator favorável nesse processo. No ambiente de restinga essa espécie já lida com condições adversas e a tolerância à temperatura cada vez mais altas pode ser adquirida como mecanismo de adaptação ao ambiente de crescimento alterado.

Palavras-chave: Banda-K • complexo de evolução do oxigênio • mudanças climáticas • teste JIP • transiente OJIP •

ABSTRACT

Understanding how species respond to changes in the climate is fundamental, however, there is still a lack of information on the role of specific climatic factors and their interactions to their responses. In this work we used open top chambers (OTCs) and rain gutters to verify the isolated and combined effects of temperature rise at 2 °C and rainfall volume at 25 % in the transient chlorophyll *a* fluorescence of *Allagoptera arenaria*. 40 individuals of *A. arenaria* in a natural restinga environment were distributed in four treatments, open-control environment (C), 25 % increase in rainfall volume (P), temperature increase at 2 °C (T) and temperature increase in 2 °C and rainfall volume in 25 % (TP). The samplings were carried out in the months of November/2015, February/2016, June/2016 and November/2016. The results showed that the effects of increasing temperature and rainfall on chlorophyll *a* fluorescence were more intense in February/2016, the period with the highest temperatures recorded. The treatment T presented a considerable reduction in transient responses of chlorophyll *a* fluorescence and the increase in pluviometric volume contributed to soften the effects of temperature increase in TP treatment. In P, no differences were observed in relation to the control. With the climatic changes it is possible that, *A. arenaria* develop mechanisms to survive the anticipated temperature increase and the increase of the precipitation can be a favorable factor in this process. In the restinga environment, this species already deals with adverse conditions and higher temperature tolerance can be acquired as a mechanism of adaptation to the altered growth environment.

Keywords: Climate change • JIP test • K-band • OJIP transient • oxygen evolution complex •

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas afetam as espécies vegetais através do aquecimento direto da temperatura do ar e do aumento da frequência de eventos climáticos extremos como o aumento do volume de chuvas (IPCC, 2014; HOF et al., 2017; KNAPP et al., 2017). Altas temperaturas modificam a estrutura e danificam o fotossistema II (FSII). Temperaturas superiores ao nível ótimo para o crescimento e o desenvolvimento das plantas resultam na deterioração da estrutura e função das proteínas fotossintéticas, levando a uma diminuição da eficiência da fotossíntese (KRESLAVSKI et al., 2009; MOHANTY et al., 2012; LI et al., 2014).

Nas últimas décadas, a cinética de emissão da fluorescência da clorofila *a* (transiente OJIP e o teste JIP) foram amplamente empregados na investigação do estado fisiológico de plantas devido a sua característica não destrutiva, precisão e rapidez na coleta dos dados (CHEN et al., 2016). Vários trabalhos têm relato que a cinética da emissão da fluorescência da clorofila *a* é um método sensível para a detecção e quantificação de mudanças induzidas por altas temperaturas nas plantas (STRASSER et al., 2000, 2004; STRAUSS et al., 2006; TÓTH et al., 2007; CHEN; CHENG, 2009; MATHUR et al., 2011; STEFANOV et al., 2011; ZUSHI et al., 2012; LI et al., 2014; SHARMA et al. 2014; CHEN et al., 2016).

A análise baseada no transiente da fluorescência da clorofila *a* é um método que fornece informações detalhadas sobre a atividade fotoquímica do FSII, os eventos de transporte de elétrons e os diferentes processos regulatórios. Assim, os dados obtidos são derivados do aumento dependente do tempo na intensidade de fluorescência alcançada após a aplicação de luz à amostra pré-adaptada ao escuro. A curva resultante é chamada de transiente OJIP da fluorescência da clorofila *a* e seus parâmetros quantitativos, de teste JIP (BRESTIČ et al., 2012; ŽUREK et al., 2014; BAĞA et al., 2016). Alguns estudos tem demonstrado que a alta temperatura diminui a capacidade de transporte de elétrons no lado receptor da FSII, bem como a atividade da complexo de evolução do oxigênio (CEO) (BRIANTAIS et al., 1996; SRIVASTAVA et al., 1997; LU; ZHANG, 1999; CRAFTS-BRANDNER; SALVUCCI, 2002; SHARKEY, 2005; RACHMILEVITCH et al., 2006; ALLAKHVERDIEV et al., 2008; KRESLAVSKI et al., 2009; MOHANTY et al., 2012; ZUSHI, et al., 2012). Contudo, alguns trabalhos tem provado que a disponibilidade de água tem resultado em variações substanciais na atividade fotossintética das plantas

(HUXMAN et al., 2004; REYNOLDS et al., 2004; IGNACE et al., 2007; PATRICK et al., 2007; RESCO et al., 2009) podendo contribuir para a diminuição dos efeitos da alta temperatura na fotossíntese das plantas (SONG et al., 2016).

No ecossistema restinga, *Allagoptera arenaria* (Gomes) Kuntze é uma espécie pioneira e dominante no estrato herbáceo, que ocupa o solo desnudo e tem um importante papel nesse ambiente por seu alto recrutamento sobre a areia nua, dominância do dossel, posição central em moitas de vegetações (ZALUAR; SCARANO, 2000; MENEZES; ARAUJO, 2000). É uma palmeira de caule subterrâneo e de grande resistência às queimadas, regenerando-se em poucos dias após a passagem do fogo (MENEZES; ARAUJO, 2004). As sementes podem germinar em solo nu, e as plantas estabelecidas fornecerão sombra e matéria orgânica (MENEZES; ARAUJO, 2000) para o estabelecimento subsequente de uma série de outras espécies de plantas (SCARANO, 2002). Em estudo com três espécies na restinga, Gessler e outros (2008), mostraram que *A. arenaria* apresentou fotoinibição nesse ambiente e valores máximos elevados de extinção não-fotoquímica da fluorescência da clorofila *a* e baixa capacidade de fixação de CO₂ na estação seca. Resultados esses decorrente do estresse ambiental da irradiância elevada e conseqüentemente por altas temperaturas e limitações devido ao abastecimento de água.

Neste estudo foram utilizadas câmaras de topo aberto (*open top chambers* - OTC's) adaptadas e calhas coletoras de chuva para verificar os efeitos isolados e combinados de aumento de temperatura em 2 °C e incremento de volume pluviométrico de 25 % em indivíduos de *A. arenaria* em ambiente de restinga. Foi investigada a atividade do FSII por meio do transiente da fluorescência da clorofila *a* e verificado como essa espécie responde ao tempo de exposição ao aumento de temperatura e como o aumento do volume pluviométrico pode favorecer esse processo. As hipóteses de que a espécie *A. arenaria*, que já vive em um ambiente limitante e poderá sofrer modificações no aparato fotossintético a fim de tolerar o aumento previsto de temperatura do ar e que aumento do volume pluviométrico pode atuar como um fator amenizador desses efeitos e contribuir para que a planta possa se aclimatar e sobreviver em um novo cenário de mudanças climáticas foram testadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área e espécie de estudo

O experimento foi conduzido sob condições de campo dentro dos limites do Parque Estadual de Itaúnas (PEI), em uma formação arbustiva aberta de restinga, localizada na Trilha das Borboletas, entre as coordenadas geográficas 18°24'21" S e 39°42'8" W, no município de Conceição da Barra, Espírito Santo. O clima da região é Aw na classificação de Köppen, apresentando clima tropical úmido com precipitação média anual em torno de 1100 mm, temperatura média anual de 23,8 °C e umidade relativa média de 84 %. Os meses mais chuvosos concentram-se em novembro e dezembro, com uma média de 185 mm de chuva nesse período, e os mais secos no inverno com média de 50 mm de chuva. A temperatura média no verão atingi cerca de 26 °C e no inverno 21 °C (CEPEMAR, 2004). Os dados meteorológicos registrados durante os anos de 2015 e 2016 foram obtidos de uma estação meteorológica automática do INMET (Figura 1).

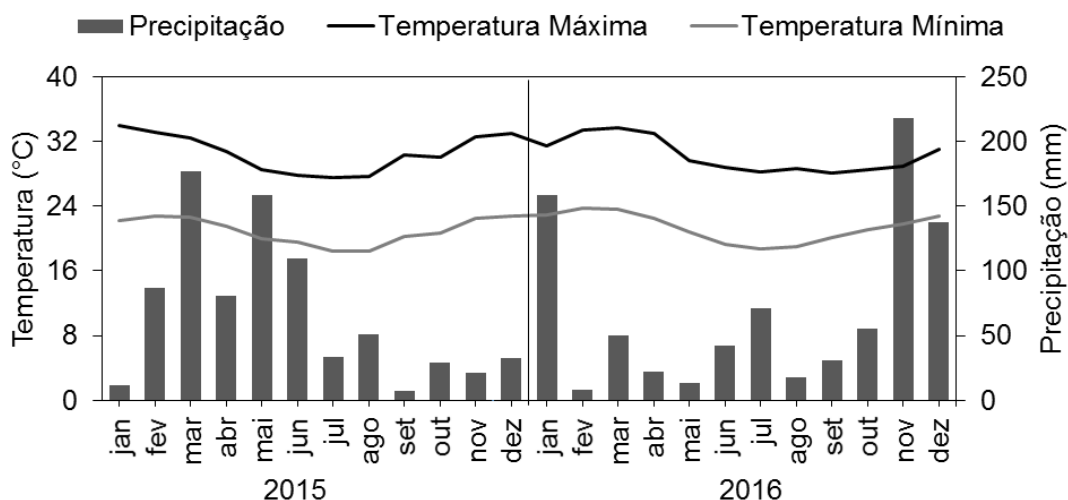


Figura 1: Temperatura máxima e mínima média (°C) e precipitação total (mm), durante os meses de janeiro de 2015 a dezembro de 2016 para região norte do Espírito Santo. Fonte: BDMEP - INMET.

A espécie de estudo, *Allagoptera arenaria*, (Gomes) Kuntze (Arecaceae), ocorre sob a forma de moitas monoespecíficas na região entre moitas na Trilha das Borboletas (MONTEIRO et al., 2014). A palmeira *A. arenaria* é uma espécie pequena, com altura média de 1,5 m de altura e 2 m de diâmetro de copa (LORENZI et al., 2010). Distribui-se na planície litorânea do Brasil, ocorrendo naturalmente nas dunas e praias em solos arenosos ao longo do litoral, estendendo-se do Sergipe ao Paraná (MORAES; MARTINS, 2017).

2.2. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido durante o período de junho de 2015 a novembro de 2016 sendo selecionados 40 indivíduos de *A. arenaria* com tamanhos de aproximadamente 2,0 m de diâmetro de copa e 1,20 m de altura, distribuídos aleatoriamente em uma mesma região. Para simular os efeitos das mudanças climáticas, foram confeccionadas câmaras de topo aberto (*open top chambers*, OTC's) sem injeção de CO₂, adaptadas de Pritchard e Amthor (2005). As OTC's foram construídas em formato circular com 2,5 m de diâmetro da base, 1,0 m de diâmetro no topo e 1,40 m de altura utilizando uma estrutura metálica envolta por cobertura plástica transparente (PVC) de 0,20 mm de espessura. As temperaturas dentro e fora das OTC'S foram monitoradas com Termômetro Digital Multifunção IP-410 Impac sendo o aumento de, aproximadamente, 2 °C na temperatura do ar dentro das OTC's em relação a do ambiente. Além disso, foram utilizadas telhas de amianto de 244,0 cm de comprimento, 50,0 cm de largura e 4,0 mm de espessura que funcionaram como calhas coletoras de chuva para aumentar a intensidade do volume pluviométrico, sendo distribuídas no entorno das copas de *A. arenaria* com função de aumentar a demanda hídrica em 25 % para as raízes das mesmas. O experimento foi instalado seguindo delineamento experimental inteiramente casualizado com dez repetições e quatro tratamentos, sem OTC e calha (Controle, C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP).

2.3. Fluorescência da clorofila a

Os transientes da fluorescência da clorofila a foram mensurados nos meses de novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/2016 entre 8:00 e 10:00 horas da manhã usando um fluorômetro portátil Handy PEA (Hansatech, King's Lynn, Norfolk, UK). Foram selecionadas folhas novas com folíolos completamente expandidos a partir do ápice, sendo realizada duas medidas por plantas no total de 10 plantas por tratamento. Os folíolos selecionados foram adaptados por 30 minutos ao escuro usando clipes foliares (Hansatech) a fim de obter a oxidação completa do sistema fotossintético. Após a adaptação, a emissão de fluorescência transiente da clorofila a foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha pela exposição a um pulso saturante de luz (3000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, comprimento de onda de 650 nm). A cinética de fluorescência rápida (F_0 a F_m) foi registrada de 10 μs a 1 s (STRASSER; STRASSER, 1995). As intensidades de

fluorescência a 50 μs (F_0), 100 μs , 300 μs , 2 ms (F_J), 30 ms (F_I) e fluorescência máxima (F_m) foram medidas e utilizadas para obter as variáveis para o teste JIP (STRASSER, 2004) (Tabela 1).

Tabela 1: Dados técnicos das curvas OJIP e os parâmetros de teste JIP selecionados utilizados neste estudo com *Allagoptera arenaria* (STRASSER, et al., 2004).

Parâmetros técnicos da fluorescência	
F_0	Fluorescência inicial
$F_O = F_{50\mu\text{s}}$	Fluorescência da fase O
$F_J = F_{2\text{ms}}$	Fluorescência da fase J
$F_I = F_{30\text{ms}}$	Fluorescência da fase I
$F_k = F_{0,3\text{ms}}$	Fluorescência da banda K
$F_P = F_{300\text{ms}}$	Fluorescência da fase P
F_m	Fluorescência máxima
$F_v = F_m - F_0$	Fluorescência variável
Área	Área acima da curva de fluorescência
Fluxos específicos	
ABS/RC	Fluxo de absorção por centro de reação
TR ₀ /RC	Fluxo de energia capturada por centro de reação em t=0
ET ₀ /RC	Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação em t=0
DI ₀ /RC	Fluxo de energia dissipada por centro de reação em t=0
Taxas de fluxo	
$\phi_{PO} = \text{TR}_0/\text{ABS}$	Rendimento quântico máximo do FSII (F_v/F_m)
$\phi_{EO} = \text{ET}_0/\text{ABS}$	Rendimento quântico do transporte de elétrons de Q_A^- para o sistema acceptor de elétrons
$\Psi_O = \text{ET}_0/\text{TR}_0$	Probabilidade da energia de excitação mover um elétron após Q_A
Índice de desempenho	
IP _{abs}	Índice de desempenho baseado na absorção
Fluxos fenomenológicos	
ABS/CS	Número de fótons absorvidos por seção transversal
DI ₀ /CS	Energia de dissipação por seção transversal em t=0
TR ₀ /CS	Energia capturada por seção transversal em t=0
ET ₀ /CS	Transporte de elétrons por seção transversal em t=0
RC/CS	Densidade de centros de reação por seção transversal

2.4. Análise estatística

Os dados foram avaliados pelo teste de Shapiro-Wilks para verificar a normalidade e em seguida foi utilizado ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$) por meio do programa InfoStat. Os dados foram expressos em média \pm erro padrão.

3. RESULTADOS

As curvas do transiente OJIP da fluorescência da clorofila *a* de *A. arenaria*, apresentaram uma forma típica para todos os tratamentos avaliados nos meses de novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/2016 (Figuras 2 e 3 A-B). Para avaliar melhor o comportamento polifásico das curvas OJIP os dados de fluorescência foram normalizados entre F_0 e F_m e apresentados como fluorescência variável relativa [$V_{OP} = (F_t - F_0) / (F_m - F_0)$]. Em fevereiro/2016 a intensidade da fluorescência foi menor quando comparada aos demais períodos analisados. Nesse período ainda, é possível observar que a fluorescência variável dos tratamentos P, T e TP foram maiores nas fases O a J quando comparadas a C, na fase I ocorreu o inverso e na fase P os tratamentos se igualaram (Figuras 2 e 3 C-D). Visando destacar as diferenças observadas foi calculada a diferença entre a fluorescência variável relativa dos tratamentos P, T e TP usando como referência o controle (tratamento C) [$\Delta V_{OP} = V_{OP(trat)} - V_{OP(con)}$]. Nas curvas obtidas em fevereiro/2016 foi observado as maiores diferenças positivas entre os tratamentos e TP apresentou as maiores intensidade de inflorescência para o período (Figuras 2 e 3 E-F).

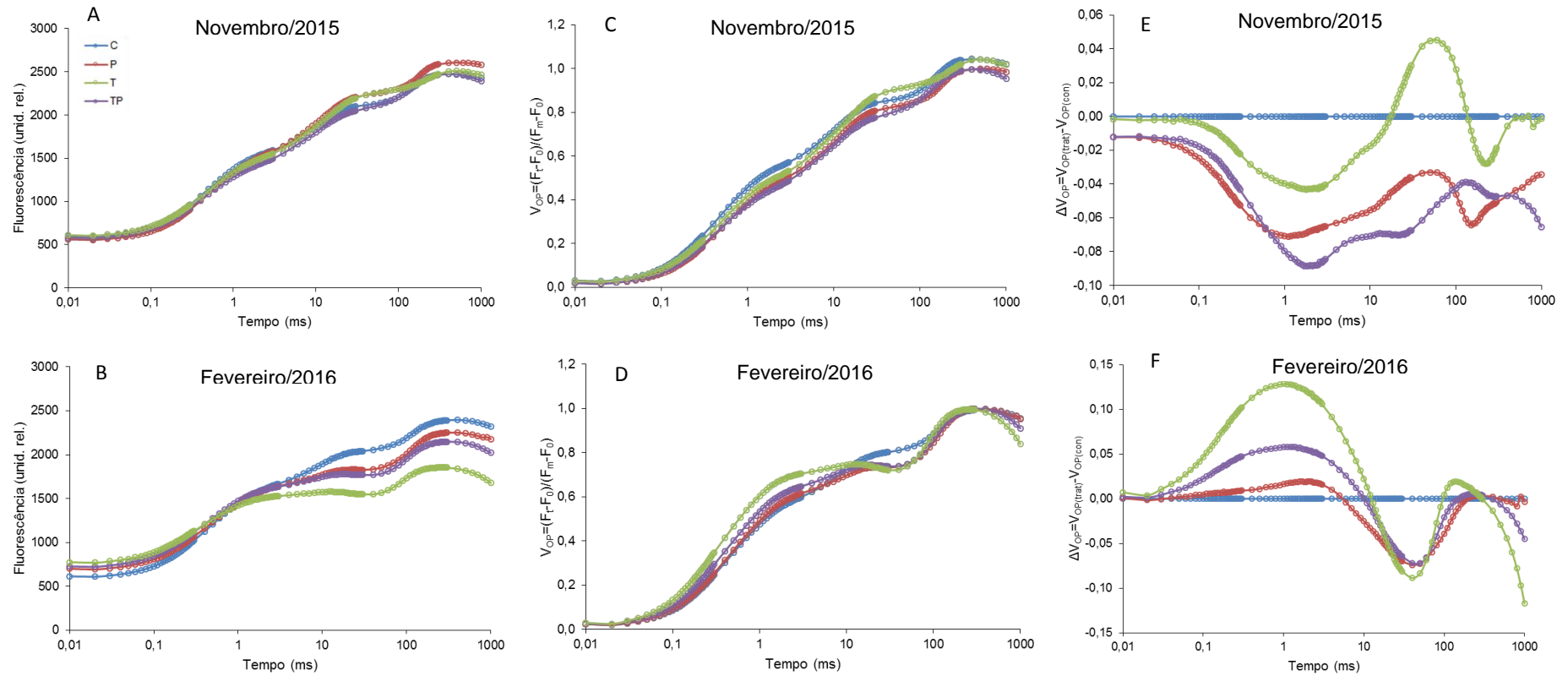


Figura 2: Transiente da fluorescência da clorofila *a* para de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) em novembro/2015 e fevereiro/2016. (A-B) Intensidade da fluorescência (F_t); (C-D) fluorescência variável relativa (V_{OP}); (E-F) diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa (ΔV_{OP}).

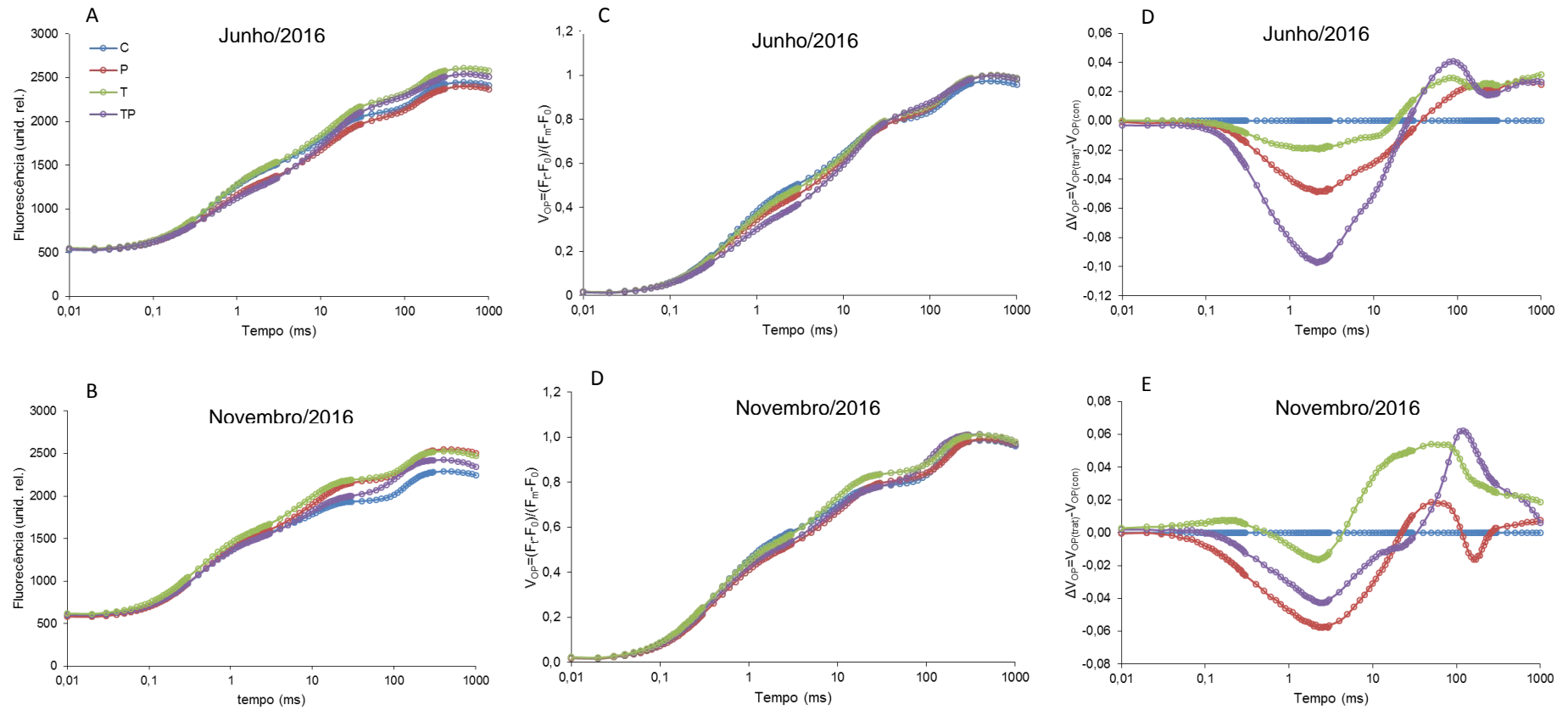


Figura 3: Transiente da fluorescência da clorofila *a* de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) em junho/2016 e novembro/2016. (A-B) Intensidade da fluorescência (F_i); (C-D) fluorescência variável relativa (V_{OP}); (E-F) diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa (ΔV_{OP}).

As mudanças na fluorescência relativa entre os pontos O (50 μ s) e J (2 ms) foram normalizados [$V_{OJ} = (F_t - F_0) / (F_J - F_0)$] e mostrados como diferenças cinéticas [$\Delta V_{OJ} = V_{OJ(trat)} - V_{OJ(con)}$] dos tratamentos P, T e TP tendo como referência o controle, o que permitiu visualizar a banda-K. A banda-K (aproximadamente 0,3 ms) foi observada para todos os tratamentos apenas na amostragem em fevereiro/2016. Sob o efeito do aumento de temperatura isoladamente, o tratamento T apresentou a maior variação em relação ao controle em comparação aos demais tratamentos (P e T) (Figura 4).

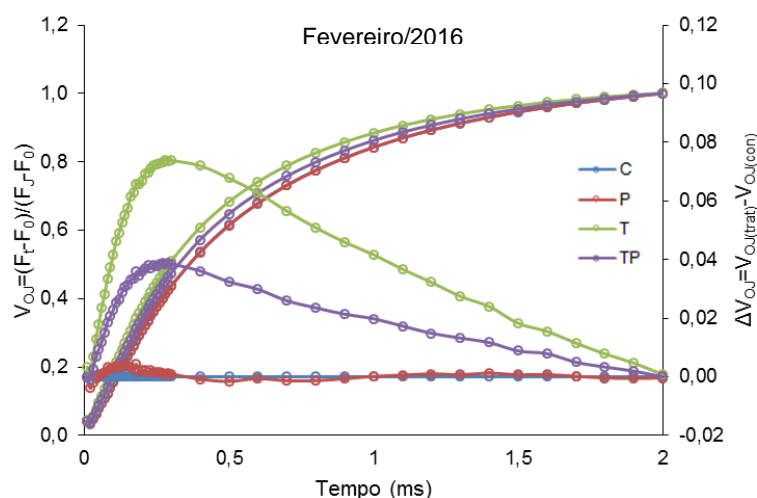


Figura 4: Variação da fluorescência da clorofila *a* de *Allagoptera arenaria* entre os pontos O-J (V_{OJ}) e diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa (ΔV_{OJ}) nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) em fevereiro/2016 mostrando a banda-K.

Para todos os meses de avaliação, os valores de F_0 foram significativamente maiores para os tratamentos T e TP em comparação ao tratamento C. Os valores de F_m apresentaram diferenças significativas apenas em junho/2015, em que os maiores foram observados para o tratamento P e os menores para C. F_v apresentou diferenças significativas entre os tratamentos apenas nos meses de novembro/2016 e junho/2016. A área acima da curva diferiu significativamente entre os tratamentos em novembro/2016, junho/2016 e novembro/2016 e o tratamento P, em geral, apresentou os maiores valores significativos em comparação ao controle (Tabela 2).

Tabela 2: Fluorescência inicial (F_0), variável (F_v) e máxima (F_m) e área entre a curva de fluorescência e F_m de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) para os meses de novembro/2015, fevereiro/2016, junho/2016 e novembro/2016.

Tratamentos	F_0	F_v	F_m	Área
C	511 ± 16 ^A	1830 ± 91 ^A	2340 ± 94 ^A	56539 ± 4271 ^A
P	532 ± 16 ^{AB}	2139 ± 91 ^B	2671 ± 94 ^B	76641 ± 4271 ^B
T	573 ± 16 ^B	1966 ± 91 ^{AB}	2540 ± 94 ^{AB}	65597 ± 4271 ^{AB}
TP	568 ± 16 ^B	1964 ± 91 ^{AB}	2532 ± 94 ^{AB}	69550 ± 4271 ^B
Fevereiro/2016				
C	555 ± 33 ^A	1833 ± 159 ^B	2389 ± 144 ^A	51976 ± 4046 ^B
P	606 ± 33 ^{AB}	1633 ± 159 ^{AB}	2239 ± 144 ^A	52721 ± 4046 ^B
T	706 ± 33 ^B	1244 ± 159 ^A	1950 ± 144 ^A	31887 ± 4046 ^A
TP	698 ± 33 ^B	1407 ± 159 ^{AB}	2105 ± 144 ^A	46657 ± 4046 ^B
Junho/2016				
C	491 ± 9 ^A	2018 ± 81 ^A	2509 ± 85 ^A	66438 ± 3242 ^A
P	510 ± 9 ^{AB}	1932 ± 81 ^A	2442 ± 85 ^A	72465 ± 3242 ^A
T	514 ± 9 ^{AB}	2045 ± 81 ^A	2559 ± 85 ^A	71214 ± 3242 ^A
TP	518 ± 9 ^B	2093 ± 81 ^A	2611 ± 85 ^A	73811 ± 3242 ^A
Novembro/2016				
C	523 ± 12 ^A	1784 ± 86 ^A	2307 ± 91 ^A	56980 ± 3325 ^A
P	537 ± 12 ^{AB}	2003 ± 86 ^A	2540 ± 91 ^A	66649 ± 3325 ^B
T	582 ± 12 ^C	1934 ± 86 ^A	2516 ± 91 ^A	56418 ± 3325 ^A
TP	571 ± 12 ^{BC}	1868 ± 86 ^A	2439 ± 91 ^A	51730 ± 3325 ^A

Médias ± erro padrão seguidas de letras iguais na vertical para cada mês não apresentaram diferenças significativas (Tukey, $p < 0,05$).

A maioria das variáveis do teste JIP com base na cinética de emissão rápida da fluorescência da clorofila a variou significativamente entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3: Parâmetros do teste JIP para os meses de novembro/15, fevereiro/16, junho/16 e novembro/16 obtidos dos transientes de fluorescência da clorofila *a* de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP). Sendo: ABS/RC (fluxo de absorção por centro de reação); TR₀/RC (fluxo de energia capturada por centro de reação em t=0); ET₀/RC (fluxo de transporte de elétrons por centro de reação em t=0); DI₀/RC (fluxo de energia dissipada por centro de reação em t=0); $\phi_{PO} = F_v/F_m$ (rendimento quântico máximo do PSII); ϕ_{EO} (rendimento quântico do transporte de elétrons de QA⁻ para o sistema aceptor de elétrons); Ψ_O (probabilidade da energia de excitação mover um elétron após QA) e IP_{ABS} (índice de desempenho baseado na absorção).

Tratamentos	ABS/RC	TR ₀ /RC	ET ₀ /RC	DI ₀ /RC	ϕ_{PO}	ϕ_{EO}	Ψ_O	IP _{ABS}
Novembro/2015								
C	2,02 ± 0,08 ^{AB}	1,51 ± 0,04 ^A	0,76 ± 0,03 ^A	0,51 ± 0,04 ^A	0,78 ± 0,01 ^A	0,39 ± 0,02 ^A	0,50 ± 0,02 ^A	16,36 ± 2,56 ^A
P	1,18 ± 0,08 ^A	1,39 ± 0,04 ^A	0,78 ± 0,03 ^A	0,41 ± 0,04 ^A	0,80 ± 0,01 ^A	0,45 ± 0,02 ^B	0,56 ± 0,02 ^A	26,07 ± 2,56 ^B
T	2,03 ± 0,08 ^{AB}	1,50 ± 0,04 ^A	0,83 ± 0,03 ^A	0,53 ± 0,04 ^A	0,77 ± 0,01 ^A	0,43 ± 0,02 ^{AB}	0,55 ± 0,02 ^A	19,49 ± 2,56 ^{AB}
TP	2,06 ± 0,08 ^B	1,52 ± 0,04 ^A	0,83 ± 0,03 ^A	0,54 ± 0,04 ^A	0,77 ± 0,01 ^A	0,43 ± 0,02 ^{AB}	0,55 ± 0,02 ^A	21,02 ± 2,56 ^{AB}
Fevereiro/2016								
C	2,10 ± 0,42 ^A	1,52 ± 0,06 ^A	0,69 ± 0,06 ^A	0,57 ± 0,40 ^A	0,76 ± 0,04 ^C	0,35 ± 0,04 ^B	0,46 ± 0,04 ^B	13,26 ± 2,45 ^B
P	2,29 ± 0,42 ^A	1,50 ± 0,06 ^A	0,61 ± 0,06 ^A	0,79 ± 0,40 ^A	0,71 ± 0,04 ^{BC}	0,31 ± 0,04 ^{AB}	0,41 ± 0,04 ^{AB}	12,82 ± 2,45 ^B
T	4,15 ± 0,42 ^B	1,78 ± 0,06 ^B	0,51 ± 0,06 ^A	2,37 ± 0,40 ^B	0,58 ± 0,04 ^A	0,20 ± 0,04 ^A	0,30 ± 0,04 ^A	4,41 ± 2,45 ^A
TP	3,35 ± 0,42 ^{AB}	1,78 ± 0,06 ^B	0,54 ± 0,06 ^A	1,57 ± 0,40 ^{AB}	0,64 ± 0,04 ^{AB}	0,23 ± 0,04 ^A	0,33 ± 0,04 ^A	7,33 ± 2,45 ^{AB}
Junho/2016								
C	1,82 ± 0,04 ^A	1,41 ± 0,03 ^A	0,79 ± 0,04 ^A	0,41 ± 0,02 ^A	0,80 ± 0,0 ^A	0,45 ± 0,02 ^A	0,56 ± 0,02 ^A	25,46 ± 2,86 ^A
P	1,84 ± 0,04 ^A	1,41 ± 0,03 ^A	0,82 ± 0,04 ^{AB}	0,43 ± 0,02 ^A	0,79 ± 0,0 ^A	0,46 ± 0,02 ^{AB}	0,58 ± 0,02 ^{AB}	26,68 ± 2,86 ^A
T	1,80 ± 0,04 ^A	1,39 ± 0,03 ^A	0,78 ± 0,04 ^A	0,41 ± 0,02 ^A	0,80 ± 0,0 ^A	0,45 ± 0,02 ^A	0,56 ± 0,02 ^A	26,00 ± 2,86 ^A
TP	1,86 ± 0,04 ^A	1,44 ± 0,03 ^A	0,93 ± 0,04 ^B	0,42 ± 0,02 ^A	0,80 ± 0,0 ^A	0,51 ± 0,02 ^B	0,64 ± 0,02 ^B	35,09 ± 2,86 ^B
Novembro/2016								
C	2,13 ± 0,06 ^{AB}	1,57 ± 0,04 ^{AB}	0,76 ± 0,04 ^A	0,56 ± 0,03 ^{AB}	0,77 ± 0,01 ^A	0,37 ± 0,02 ^A	0,48 ± 0,03 ^A	12,82 ± 2,3 ^A
P	2,05 ± 0,06 ^A	1,55 ± 0,04 ^A	0,82 ± 0,04 ^A	0,50 ± 0,03 ^A	0,79 ± 0,01 ^A	0,42 ± 0,02 ^A	0,53 ± 0,03 ^A	18,51 ± 2,3 ^A
T	2,30 ± 0,06 ^B	1,67 ± 0,04 ^B	0,80 ± 0,04 ^A	0,63 ± 0,03 ^B	0,76 ± 0,01 ^A	0,37 ± 0,02 ^A	0,48 ± 0,03 ^A	12,57 ± 2,3 ^A
TP	2,21 ± 0,06 ^{AB}	1,61 ± 0,04 ^{AB}	0,80 ± 0,04 ^A	0,61 ± 0,03 ^B	0,76 ± 0,01 ^A	0,39 ± 0,02 ^A	0,50 ± 0,03 ^A	15,92 ± 2,3 ^A

Médias ± erro padrão seguidas de letras iguais na vertical para cada mês não apresentaram diferenças significativas (Tukey, p<0,05).

Os fluxos específicos de energia por centro de reação apresentaram diferenças significativas entre os valores de ABS/RC, TR_0/RC e DI_0/RC nos meses de fevereiro/2016 e novembro/2016 e o tratamento T e TP apresentaram os maiores valores para essas variáveis em comparação ao tratamento P. Em novembro/2015 apenas ABS/RC variou significativamente entre os tratamentos enquanto que em junho/2016 diferenças significativas foram observadas para ET_0/RC . As taxas de fluxos apresentaram diferenças significativas para as variáveis ϕ_{Po} , ϕ_{Eo} e ΨO nos meses de novembro/2015, fevereiro/2016 e junho/2016 não sendo observado em novembro/2016. Em fevereiro/ 2016 os tratamentos T e TP apresentaram os menores valores significativos de ϕ_{Po} , ϕ_{Eo} e ΨO em comparação ao controle. Quanto às respostas das plantas para IP_{ABS} , verificou-se maior valor significativo para o tratamento P em novembro/ 2015, menor valor para P em fevereiro/2016 e maior valor para TP em junho/2016 quando comparados ao controle (Tabela 3).

A maioria das variáveis do fluxo fenomenológico apresentou diferenças significativas entre seus valores para os tratamentos nos períodos avaliados. Em fevereiro/2016 os indivíduos de *A. arenaria* nos tratamentos T e TP apresentaram os maiores valores significativos ABS/CS e DI_0/CS e os menores valores significativos de ET_0/CS e RC/CS em comparação ao controle. Em novembro/2015, junho/2016 e novembro/2016 os maiores valores significativos de ABS/CS para os tratamentos T e TP não foram acompanhados de reduções de TR_0/CS , ET_0/CS e RC/CS. Os indivíduos no tratamento P diferiram do controle apenas para as variáveis ET_0/CS e RC/CS na amostragem em novembro/2015 (Figura 5).

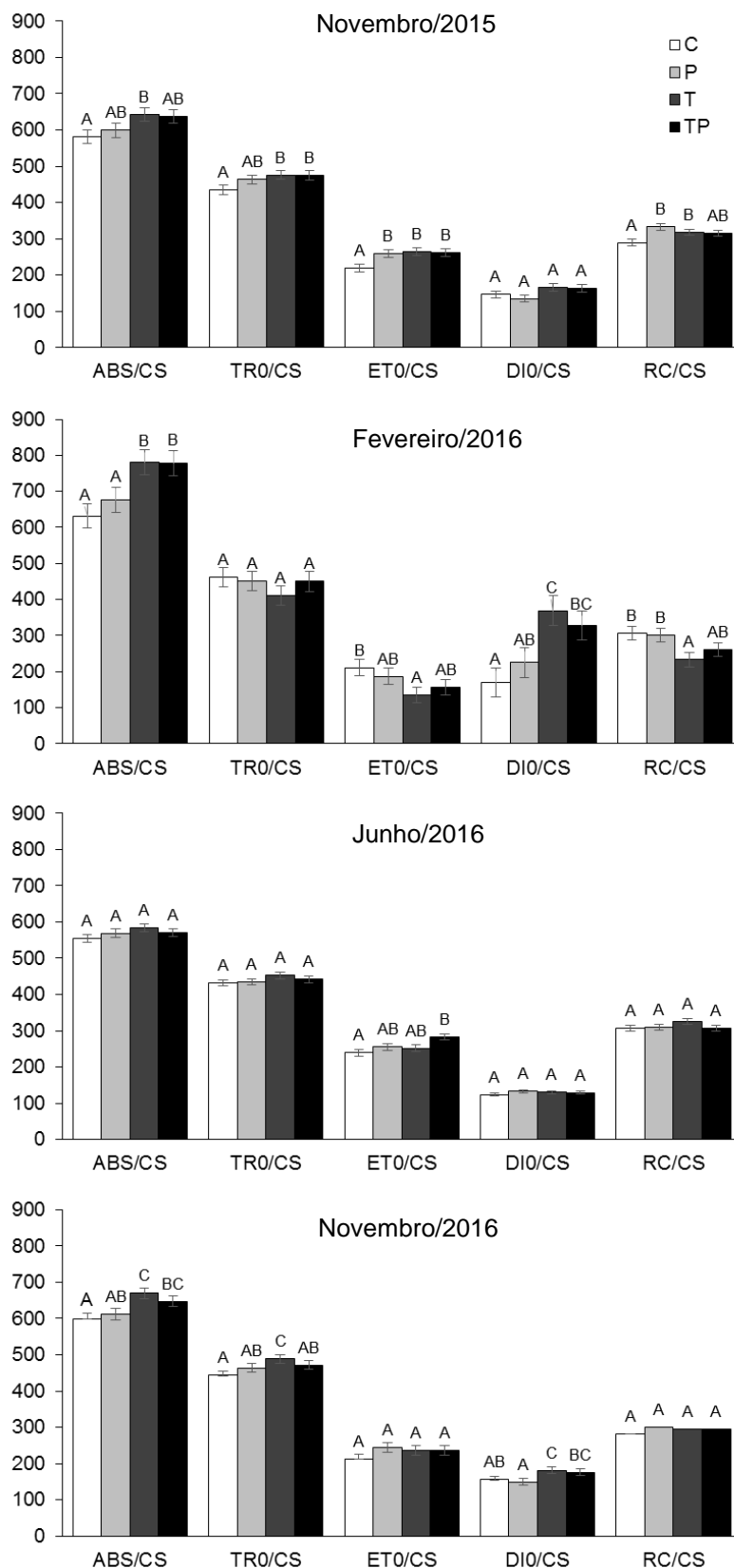


Figura 5: Fluxo fenomenológico de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP) em novembro/15, fevereiro/16, junho/16 e novembro/16. Sendo: ABS/CS (número de fótons absorvidos por seção transversal); DI_0/CS (energia de dissipação por seção transversal em $t=0$); TR_0/CS (taxa máxima de energia bloqueada por seção transversal em $t=0$); ET_0/CS (transporte de elétrons por seção transversal em $t=0$) e RC/CS (densidade de centros de reação por seção transversal).

4. DISCUSSÃO

Neste estudo, os indivíduos de *A. arenaria* apresentaram fases OJIP típicas para todos os tratamentos em todos os períodos de avaliação indicando que todas as amostras eram fotossinteticamente ativas (YUSUF et al., 2010).

Os maiores valores de F_0 observados para os tratamentos T e TP indicam sinais de fotoinibição causados pelo aumento de temperatura. F_0 representa a emissão de luz pelas moléculas de clorofilas *a* excitadas, antes da energia ser dissipada para o centro de reação do FSII. Estresse por temperaturas elevadas é caracterizado por incrementar drasticamente os valores de F_0 (CAMPOSTRINI, 1997). O aparato fotossintético é muito sensível à temperatura e o estresse por calor é um problema que afeta o crescimento e desenvolvimento da planta e pode levar a uma redução drástica do rendimento foliar (WAHID et al., 2007). Alterações nos padrões de emissão da fluorescência da clorofila *a* por aumento de temperatura já foram relatadas anteriormente (ZUSHI et al., 2012; LI et al., 2014; CHEN et al., 2016; MA et al., 2017). A área acima da curva de fluorescência entre F_0 e F_m foi maior para o tratamento P, indicando que os indivíduos de *A. arenaria* nesse tratamento apresentaram maior estoque de aceptores de elétrons do FSII devido ao desbalanço entre o fluxo de elétrons do lado doador para o centro de reação e o fluxo de elétrons do centro de reação para o lado acceptor (Q_A) (STRASSER, 1997).

De acordo com Schansker e outros (2005), as fases das curvas OJIP refletem diferentes processos de redução da cadeia de transporte de elétrons. A fase O-J está relacionada à redução fotoquímica da Q_A nos centros de reação do FSII. A fase J-I representa as propriedades cinéticas para redução/oxidação do pool de plastoquinona enquanto a fase I-P reflete a redução da plastocianina e $P700^+$ no fotossistema I (FSI) (SCHANSKER et al., 2005; TÓTH et al., 2007; GOMES et al., 2012). Normalmente, quando as plantas estão sob ambientes estressantes, o tipo de estresse não é claramente identificado pelo transiente da fluorescência da clorofila *a* quando os dados são apresentados na forma linear, contudo, quando os valores do transiente OJIP são apresentados na forma variável relativa verifica-se, nitidamente, o efeito do tipo de estresse (LICHTENTHALER et al., 1998). Nesse estudo em fevereiro/2016 a diferença positiva na fase O-J revela uma possível deficiência na capacidade de reoxidar a quinona A (Q_A^-) dos indivíduos de *A.*

arenaria nos tratamentos T e TP principalmente (Figura 2 E-F). Esta primeira fase da curva OJIP (O-J) representa a acumulação de quinona A reduzida (Q_A), ou seja, uma redução do lado aceptor FSII (SMIT et al., 2009). Esses resultados indicam danos na FSII, possivelmente devido a uma deficiência na capacidade de reoxidação da Q_A , levando ao transporte ineficiente de elétrons no intersistema para FSI.

O transiente de fluorescência aumenta do ponto de origem O para o pico de fluorescência P mais rápido quando a re-oxidação do Q_A^- é inibido por qualquer estresse, resultando assim em um transiente polifásico OJIP característico quando plotado em uma escala logarítmica (Li et al., 2014). Quando as plantas estão sob efeito de determinado estresse se verifica desvio positivo quando os dados são normalizados e exibidos na banda-K (TOMEK et al., 2001; OUKARROUM et al., 2007), o que foi observado para os tratamentos T e TP em fevereiro/2016. A banda-K, normalmente é observada em plantas submetidas a estresse por elevação da temperatura (GUISSÉ et al., 1995). O dano ao lado do doador FSII está sempre associado à aparência de um pico K nas curvas OJIP em cerca de 300 μ s (CHEN; CHENG, 2009; STRASSER et al., 2000, 2004). A presença da banda K positiva reflete uma inibição do complexo de evolução do oxigênio (CEO) e coincide com a limitação do lado doador do FSII (YUSUF et al., 2010). Assim, qualquer condição de estresse que afeta a capacidade do lado doador implicará no surgimento da banda-K que pode ser usada como um indicador específico de danos do CEO. Os resultados revelam, portanto, que o lado doador do PSII pode ser danificado (ALLAKHVERDIEV et al. 2008; KRESLAVSKI et al. 2009, LI et al., 2014). A alta temperatura afeta um amplo espectro de componentes celulares e processos metabólicos (SUNG et al., 2003). A fotossíntese é um dos processos fisiológicos mais sensíveis ao estresse de alta temperatura, e a manutenção da alta atividade fotossintética é importante para a tolerância da planta ao calor (LIU; HUANG, 2008).

Aumentos em ABS/RC , TR_0/RC e Dl_0/RC obtidos para os indivíduos de *A. arenaria* durante a amostragem em fevereiro/2016 e novembro/2016 são indicativos de fotoproteção. Esses resultado também foi observado por Chen et al. (2016), em trabalho com tolerância ao calor demonstrando o aumento de ABS/RC , TR_0/RC e Dl_0/RC está relacionado a inativação dos RCs do FSII. Os valores de ϕPo diferiram significamente apenas na amostragem de fevereiro/2016, as reduções dos valores de ϕPo (F_v/F_m) observadas nos tratamentos T e TP em comparação ao

controle é um indicativo de danos fotoinibitórios dos indivíduos de *A. arenaria* em condições de aumento de temperatura (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009). Um diminuição de ϕPo certamente, causa um aumento da dissipação de energia como calor, fluorescência e transferência de energia para outros sistemas, o que resultará na conversão de RCs ativos do PSII em centros de dissipação de calor (CHEN et al., 2016). Em qualquer planta sob ausência de estresse, os valores ϕPo variam de 0,75 a 0,85 (BOLHAR-NORDENKAMPF et al., 1989), o que foi observado para os tratamentos nas amostragens em novembro/2015, junho/2016 e novembro/2016. Além disso, os valores de ϕEo e ΨO também foram significativamente menores para T e TP quando comparado ao controle em fevereiro/2016, confirmando que as altas temperaturas registradas nesse período intensificaram ainda mais o efeito do aumento de temperatura nesses tratamentos. Baixos valores de ϕEo e ΨO indicam que os indivíduos de *A. arenaria* em T e TP, estão sob efeito de inibição e tendem a dissipar grande parte da energia, não direcionando essa energia de excitação para o transporte de elétrons em função da baixa absorção (STRASSER et al., 1995). Os valores médio de IP_{ABS} para os indivíduos de *A. arenaria* no tratamento T em fevereiro/2016 foi o menor registrado. Esta variável relaciona a eficiência de absorção, captura e transferência de energia de excitação pelo PSII proporcionando uma visão ampla do grau de efeito do ambiente estressante (STRASSER et al., 2010). A significativa diminuição nos valores de ϕPo e IP_{ABS} indicam o efeito inibitório provocado por altas temperaturas nos tratamentos T e TP, o que representa perda de eficiência fotoquímica dos indivíduos na amostragem em fevereiro/2016, período em que foi registrado as maiores temperaturas médias (THACH et al., 2007).

Os fluxos fenomenológicos por CS indicam que para os indivíduos expostos ao tratamento com aumento de temperatura (T e TP) em fevereiro/2016 houve aumento em ABS/CS e DI_0/CS e redução de ET_0/CS e RC/CS . Os elevados valores de DI_0/CS indicam que grande parte da energia absorvida está sendo dissipada na forma de calor ou de fluorescência, o que implica no déficit de RC/CS ativos e reflete na redução em ET_0/CS (THACH et al., 2007). Os altos valores de dissipação de energia (DI_0/CS) indicam que a exposição de *A. arenaria* à alta temperatura nos tratamentos T e TP podem ser uma tentativa dos indivíduos de se protegerem contra danos irreversíveis ao aparato fotossintético (OSMOND et al., 1987), confirmando, assim, que a espécie estudada pode ser susceptível quando expostas

à alta temperatura. E a redução de ET_0/CS indica que os RCs ativos estão sendo convertidos em RCs inativos, reduzindo a eficiência da captura e um declínio na atividade do FSII. Nas amostragens de novembro/2015, junho/2016 e novembro/2016 os aumentos de ABS/CS dos tratamentos T e TP não foram acompanhados de reduções de TR_0/CS , ET_0/CS e RC/CS , nesses períodos de amostragens os indivíduos de *A. arenaria* estavam mais aptos ao aumento de temperatura (Figura 5).

Comparando-se as respostas das diferenças relativas entre os tratamentos P, T e TP com o controle (C) para as variáveis dos fluxos específicos e fenomenológicos (Figura 6) é possível diferenciar os tratamentos com aumento de temperatura T e TP do tratamento de aumento de volume pluviométrico, P. Sob alta temperatura, os indivíduos de *A. arenaria* apresentaram danos oxidativos ao PSII evidenciado pela absorção e dissipação de energia excessiva e na amostragem de fevereiro/2016, período com maiores temperaturas registradas evidenciando o efeito térmico sobre as variáveis dos fluxos específicos e fenomenológicos. Os efeitos do aumento de temperatura em 2 °C foram mais intensos para o tratamento T principalmente em fevereiro/2016, mês mais quente. Em TP, o efeito do aumento de temperatura em 2°C foi amenizado pelo aumento do volume pluviométrico nesse tratamento. O tratamento P não apresentou resultados que diferiram significativamente do controle o que pode ser decorrente dos baixos registros de precipitação observados para o período de estudo.

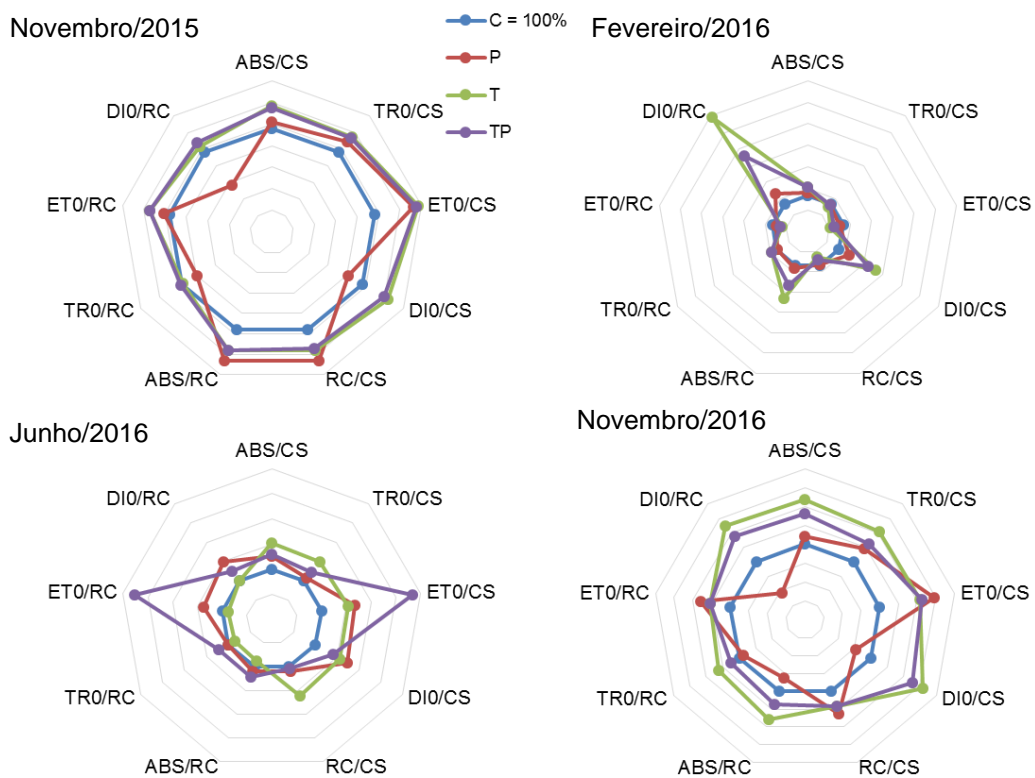


Figura 6: Radar com os fluxos específicos e fenomenológicos nos meses de novembro/15, fevereiro/16, junho/16 e novembro/16 obtidos dos transientes de fluorescência da clorofila *a* de *Allagoptera arenaria* nos tratamentos sem OTC e calha (C), com calha (P), com OTC (T) e com OTC e calha (TP). Cada parâmetro é expresso como fração em relação ao tratamento controle (C=100%).

5. CONCLUSÕES

A espécie *A. arenaria* exposta ao aumento de temperatura em 2 °C isoladamente (tratamentos T) apresentou considerável redução nas respostas dos transientes da fluorescência da clorofila a, bem como, dos valores dos parâmetros do fluxo fenomenológico e das razões de fluxos na tentativa de minimizar os efeitos do estresse térmico, principalmente no período onde foram registradas as maiores temperaturas do ar. Esses efeitos do aumento de temperatura foram amenizados quando os indivíduos foram expostos ao aumento do volume pluviométrico no tratamento TP. O efeito do aumento do volume pluviométrico isoladamente (tratamento P) não levou à diferenças expressivas dos indivíduos de *A. arenaria* em comparação ao controle, visto que os registros pluviométricos foram baixos para a região no período de estudo. Com o tempo de exposição as diferenças observadas entre os tratamentos foram minimizadas. Com as mudanças climáticas é possível inferir que *A. arenaria* expresse mecanismos para sobreviver sob o estresse por alta temperatura. No ambiente de restinga essa espécie já lida com condições adversas e a tolerância à temperatura cada vez mais altas pode ser adquirida como mecanismo de adaptação ao ambiente de crescimento alterado.

6. REFERÊNCIAS

ALLAKHVERDIEV, S.I.; KRESLAVSKI, V.D.; KLIMOV, V.V.; LOS, D.A.; CARPENTIER, R.; MOHANTY, P. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. **Photosynthesis Research**, v. 98, n. 1-3, p. 541-50, 2008.

ARAÚJO, S.A.C.; DEMINICIS, B.B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biosciências**, v. 7, n. 4, p. 463–472, 2009.

BABA, W.; KALAJI, H.M.; KOMPAŁA-BABA, A.; GOLTSEV, V. Acclimatization of Photosynthetic Apparatus of Tor Grass (*Brachypodium pinnatum*) during Expansion. **PLOS ONE**, v. 11, n. 6, e0156201, 2016.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H.R.; LONG, S.P.; BAKER, N.R.; ÖQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, G. Chlorophyll Fluorescence as a Probe of the Photosynthetic Competence of Leaves in the Field: A Review of Current Instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, n. 4, p. 497–514, 1989.

BRESTIČ, M.; ŽIVČÁK, M.; KALAJI, H.M.; CARPENTIER, R.; ALLAKHVERDIEV, S.I. Photosystem II thermostability in situ: environmentally induced acclimation and genotype-specific reactions in *Triticum aestivum* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 57, p. 93–105, 2012.

BRIANTAIS, J.M.; DACOSTA, J.; GOULAS, Y.; DUCRUET, J.M.; MOYA, I. Heat stress induces in leaves an increase of the minimum level of chlorophyll fluorescence, F-0: a time-resolved analysis. **Photosynthesis Research**, v. 48, n. 1-2, p. 189–196, 1996.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e práticas**. 1997 Disponível em: http://www.uenf.br/Uenf/Dowloads/Centro_pdf Acesso em: 10 out. 2017.

CEPEMAR. **Plano de manejo do Parque Estadual de Itaúnas**. 2004. Disponível em: <http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp?pagina=16707> Acesso em: 11 jan. 2017.

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.

CHEN, L.S.; CHENG, L. Photosystem 2 is more tolerant to high temperature in apple (*Malus domestica* Borkh.) leaves than in fruit peel. **Photosynthetica**, v. 47, n. 1, p. 112-120, 2009.

CRAFTS-BRANDNER, S.J.; SALVUCCI, M.E. Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize, to heat stress. **Plant Physiology**, v. 129, n. 4, p. 1773–1780, 2002.

GESSLER, A.; NITSCHKE, R.; MATTOS, E.A.; ZALUAR, H.L.T.; SCARANO, F.R.; RENNENBERG, H.; LÜTTGE, U. Comparison of the performance of three different ecophysiological life forms in a sandy coastal resting ecosystem of SE-Brazil: a nodulated N₂-fixing C₃-shrub (*Andira legalis* (Vell.) Toledo, a CAM-shrub (*Clusia hilariana* Schtdl.) and a tap root C₃-hemicryptophyte (*Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Ktze.). **Trees**, v. 22, p. 105-119, 2008.

GOMES, M.T.G.; LUZ, A.C.DA, SANTOS, M.R.DOS, BATITUCCI, M.C.P.; SILVA, D.M.; FALQUETO, A.R. Drought tolerance of passion fruit plants assessed by the OJIP chlorophyll a fluorescence transiente. **Scientia Horticulturae**, v. 142, p. 49–56, 2012.

GUISSÉ, B.; SRIVASTAVA, A.; STRASSER, R.J. The polyphasic rise of the chlorophyll a fluorescence (O-K-J-I-P) in heat stressed leaves. **Archive des Scientific Genève**, 48: 147-160. 1995.

HUXMAN, T.E.; SNYDER, K.A.; TISSUE, D.T.; LEFFLER, A.J.; OGLE, K.; POCKMAN, W.T.; SANDQUIST, D.R.; POTTS, D.L.; SCHWINNING, S.. Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. **Oecologia**, v. 141, n. 2, 254-268, 2004.

IGNACE, D.D.; HUXMAN, T.E.; WELTZIN, J.F.; WILLIAMS, D.G. Leaf gas exchange and water status response of a native and nonnative grass to precipitation across contrasting soil surfaces in the Sonoran desert. **Oecologia**, v. 152, n. 3, p. 401-413, 2007

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change. Edited by FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J.; MASTRANDREA, M.D.; BILIR T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE, L.L. Cambridge/New York: Cambridge University Press/ IPCC, 2014.

KNAPP, A.; AVOLIO, M.L.; BEIER, C.; CARROLL, C.J.W.; COLLINS, S.L.; DUKES, J.S.; FRASER, L.H.; GRIFFIN-NOLAN, R.J.; HOOVER, D.L.; JENTSCH, A.; LOIK, M.L.; PHILLIPS, R.P.; POST, A.K.; SALA, O.E.; SLETTE, I.J.; YAHDJIAN, L.; SMITH, M.D. Pushing precipitation to the extremes in distributed experiments: recommendations for simulating wet and dry years. **Global Change Biology**, v. 23, n. 5, p. 1774–1782, 2017.

KRESLAVSKI, V.D.; LYUBIMOV, V.Y.; SHABNOVA, N.I.; BALAKHNINA, T.I.; KOSOBRYUKHOV, A.A. Heat-induced impairments and recovery of photosynthetic machinery in wheat seedlings. Role of light and prooxidant-antioxidant balance. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 15, n. 2, p. 115–122, 2009.

LI, L.; LI, X.L.; XU, X. W.; LIN, L.S.; ZENG, F.J. Effects of high temperature on the chlorophyll a fluorescence of *Alhagi sparsifolia* at the southern Taklamakan Desert. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, n. 2, p. 243–249, 2014.

LICHTENTHALER, H.K.; WENZEL, O.; BUSCHMANN, C.; GITELSON, A. Plant stress detection by reflectance and fluorescence, **Annals New York Academy of Science**, v. 851, p. 271-285, 1998.

LIU, X.Z., HUANG, B.R. Photosynthetic acclimation to high temperatures associated with heat tolerance in creeping bentgrass. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, n. 1947-1953, 2008.

LORENZI, H.; NOBLICK, L.R.; KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora brasileira: Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2010.

LU, C.M., ZHANG, J.H. Heat-induced multiple effects on PSII in wheat Plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 156, n. 2, p. 259–265, 1999.

MA, J.; LV, C.; XU, M.; HAO, P.; WANG, Y.; SHEN, W.; GAO, Z.; CHEN, G.; LV, C. Analysis of chlorophyll a fluorescence and proteomic differences of rice leaves in response to photooxidation. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 46, 2017.

MATHUR, S.; JAJOO, A.; MEHTA, P.; BHARTI, S. Analysis of elevated temperature-induced inhibition of photosystem II using chlorophyll a fluorescence induction kinetics in wheat leaves (*Triticum aestivum*). **Plant Biology**, v. 13, n. 1, p. 1-6, 2011.

MENEZES, L.F.T.; ARAUJO, 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**, v. 60, n. 1, p. 147-157, 2000.

MENEZES, L.F.T.; ARAUJO, D.S.D. Regeneração e riqueza da formação arbustiva de Palmae em uma cronoseqüência pós fogo na Restinga de Marambaia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 4, p. 761-771, 2004.

MOHANTY, P.; KRESLAVSKI, V.D.; LOS, D.A.; KLIMOV, V.V.; CARPENTIER, R.; ALLAKHVERDIEV, S.I. Heat stress: susceptibility, recovery and regulation. *In*: EATON-RYE, J.J.; TRIPATHY, B.C. (Ed.). **Photosynthesis. Plastid biology, energy conversion and carbon assimilation**, Dordrecht: Springer, p. 251–274, 2012.

MONTEIRO, M.M.; GIARETTA, A.; PEREIRA, O.J.; MENEZES, L.F.T. DE. Composição e estrutura de uma restinga arbustiva aberta no norte do Espírito Santo e relações florísticas com formações similares no Sudeste do Brasil. **Rodriguésia**, v. 65, n. 1, p. 61-72, 2014.

MORAES R.M.; MARTINS, R.C. **Allagoptera in Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2017, Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15666>. Acesso em: 19 out. 2017.

OSMOND, C.B.; AUSTIN, M.P.; BERRY, J.A.; BILLINGS, W.D.; BOYER, J.S.; DACEY, W.H.; NOBEL, P.S.; SMITH, S.D.; WINNER, W.E.. Stress physiology and the distribution of plants. **BioScience**, v. 37, n. 1, p. 38-48, 1987.

OUKARROUM, A.; MADIDI, S.E.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R.J. 2007. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, n. 3, p. 438-446.

PATRICK, L.; CABLE, J.; POTTS, D.; IGNACE, D.; BARRON-GAFFORD, G.; GRIFFITH, A.; ALPERT, H.; GESTEL, N.V.; ROBERTSON, T.; HUXMAN, T.E.; ZAK, J.; LOIK, M.E.; TISSUE, D. Effects of an increase in summer precipitation on leaf, soil, and ecosystem fluxes of CO₂ and H₂O in a sotol grassland in Big Bend National Park, Texas. **Oecologia**, v. 151, n. 4, p. 704–718, 2007.

PRITCHARD, S.G.; AMTHOR, J.S. Crops and environmental change: an introduction to effects of global warming, increasing atmospheric CO₂ and O₃ concentrations, and soil salinization on crop physiology and yield. **Food Products Press**, v. 42, n. 7, 421p., 2005.

RACHMILEVITCH, S.; DACOSTA, M.; HUANG, B. Physiological and biochemical indicators for stress tolerance. *In*: Huang, B. (Ed.). **Plant–Environment Interactions**. Boca Raton: Taylor & Francis, p. 321–355, 2006.

RESCO, V.; EWERS B.E.; SUN, W.; HUXMAN, T.E.; WELTZIN, J.F.; WILLIAMS, D.G. Drought-induced hydraulic limitations constrain leaf gas exchange recovery after precipitation pulses in the C₃ woody legume, *Prosopis velutina*. **New Phytologist**, v. 181, n. 3, p. 672–682, 2009.

REYNOLDS, J.F.; KEMP, P.R.; OGLE, K.; FERNÁNDEZ, R.J. Modifying the ‘pulse-reserve’ paradigm for deserts of North America: precipitation pulses, soil water, and plant responses. **Oecologia**, v. 141, n. 2, p. 194–210, 2004.

SCARANO, F.R. Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rain forest. **Annals of Botany**, v. 90, n. 4, p. 517-524, 2002.

SCHANSKER, G.; STRASSER, R.J. Quantification of non-QB-reducing centers in leaves using a far-red pre-illumination. **Photosynthesis Research**, v. 84, n. 1-3, p. 145–151, 2005.

SHARKEY, T.D. Effects of moderate heat stress on photosynthesis: importance of thylakoid reactions, Rubisco deactivation, reactive oxygen species, and thermotolerance provided by isoprene. **Plant, Cell & Environment**, v. 28, n. 3, p. 269–277, 2005.

SHARMA, D.K.; FERNANDEZ, J.O.; ROSENQVIST, E.; OTTOSEN, C.O.; ANDERSEN, S.B. Genotypic response of detached leaves versus intact plants for

chlorophyll fluorescence parameters under high temperature stress in wheat. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 8, p. 576-586, 2014.

SONG, X.; ZHOU, G., XU, Z., LV, X., WANG, Y. Detection of Photosynthetic Performance of *Stipa bungeana* Seedling under Climatic Change using Chlorophyll Fluorescence Imaging. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 1254, 2016.

SRIVASTAVA, A.; GUISSSE, B.; GREPPIN, H.; STRASSER, R.J. Regulation of antenna structure and electron transport in photosystem II of *Pisum sativum* under elevated temperature probed by the fast polyphasic chlorophyll a fluorescence transient: OKJIP. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1320, n. 1, p. 95–106, 1997.

STEFANOV, D.; PETKOVA, V.; DENEV, I.D. Screening for heat tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines and cultivars using JIP-test. **Scientia Horticulturae**, v. 128, n. 1, p. 1-6, 2011.

STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; GOVINDJEE. Polyphasic chlorophyll a fluorescence transient in plants and cyanobacteria. **Photochemistry and Photobiology**, v. 61, n. 1, p. 32-34, 1995.

STRASSER, R.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *In*: YUNUS, M.; PATHRE, U.; MOHANTY P. (Ed.). **Probing photosynthesis: Mechanisms, regulation and adaptation**. London: CRC Press, p. 445-483, 2000.

STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, D.A. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. Chlorophyll a Fluorescence. *In*: PAPAGEORGIOU, G.C.; GOVINDJEE (Ed.). **Chlorophyll a fluorescence: A signature of photosynthesis**. Dordrecht: Springer, p. 321-362, 2004.

STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; QIANG, S.; GOLTSEV, V. Simultaneous *in vivo* recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, n. 6-7, p. 1313–1326, 2010.

STRASSER, B.J.; STRASSER, R.J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP-test. *In*: MATHIS, P. (Ed.).

Photosynthesis: from light to biosphere. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 977–980, 1995.

STRASSER, B.J. Donor side capacity of Photosystem II probed by chlorophyll a fluorescence transients. **Photosynthesis Research**, v. 52, n. 2, p. 147-155, 1997.

STRAUSS, A.J.; KRUGER, G.H.J.; STRASSER, R.J.; VAN HEERDEN, P.D.R. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, n. 2, p. 147-157, 2006.

THACH, L.B.; SHAPCOTT, A.; SCHMIDT, S.; CRITCHLEY, C. The OJIP fast fluorescence rise characterizes Graptophyllum species and their stress responses. **Photosynthesis Research**, v. 94, n. 2-3, p. 423-436, 2007.

TOMEK, P.; LAZÁR, D.; ILÍK, P.; NAUS, J. On intermediate steps between the O and P steps in chlorophyll a fluorescence rise measure at different intensities of exciting light. **Australian Journal Plant Physiology**, v. 28, p. 115-1160, 2001.

TÓTH, S.Z.; SCHANSKER, G.; GARAB, G.; STRASSER, R.J. Photosynthetic electron transport activity in heat-treated barley leaves: the role of internal alternative electron donors to photosystem II. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1767, n. 4, p. 295-305, 2007.

WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Heat tolerance in plants. An overview. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 3, p. 199-223, 2007.

YUSUF, M.A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE; SARIN, N.B. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, n. 8, p. 1428–1438, 2010.

ZALUAR, H.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**. Macaé: NUPEM/UFRJ, p. 3-23, 2000.

ŻUREK, G.; RYBKA, K.; POGRZEBA, M.; KRZYŻAK, J.; PROKOPIUK, K. Chlorophyll a fluorescence in evaluation of the effect of heavy metal soil contamination on perennial grasses. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, e91475, 2014.

ZUSHI, K.; KAJIWARA, S.; MATSUZOE, N. Chlorophyll a fluorescence OJIP transient as a tool to characterize and evaluate response to heat and chilling stress in tomato leaf and fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 148, p. 39-46, 2012.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

I. As OTC's modificadas e calhas coletoras de chuva são instrumentos importantes para estudos de mudanças climáticas e permitiram alterar o microclima entorno dos indivíduos de *A. arenaria* permitindo acompanhar e avaliar as alterações dessa espécie em ambiente natural com espécies adultas já estabelecidas.

II. Os aumentos combinados de temperatura em 2 °C e volume pluviométrico em 25 % favoreceram a produção de biomassa aérea em *A. arenaria* e o aumento de temperatura em 2 °C isoladamente culminou em mais ciclos reprodutivos dessa espécie. Possíveis aumentos de temperatura futuros poderão encurtar o ciclo reprodutivo de *A. arenaria* na tentativa de garantir o sucesso adaptativo e evolutivo dessa espécie.

III. O aumento de temperatura em 2 °C e volume pluviométrico em 25 % combinados parecem ter garantido um maior desempenho fotossintético em *A. arenaria*. Quando as variáveis temperatura e pluviosidade foram avaliadas isoladamente, essa tendência não foi observada.

IV. O aumento de temperatura isoladamente contribuiu redução nas respostas dos transientes da fluorescência da clorofila *a*, dos valores dos parâmetros do fluxo fenomenológico e das razões de fluxos dos indivíduos de *A. arenaria* na tentativa de minimizar os efeitos da temperatura elevada. E efeitos do aumento de temperatura foram amenizados quando combinados ao aumento do volume pluviométrico.

V. O aumento do volume pluviométrico isoladamente não promoveu diferenças expressivas dos indivíduos de *A. arenaria* em comparação ao controle, visto que, os registros pluviométricos foram baixos para a região no período de estudo.

VI. Nas restinga as condições de temperatura, disponibilidade hídrica e salinidade já são limitantes para as espécies e aumentos de temperatura levaria essas condições para um ponto ainda mais extremo de sobrevivência nesse ambiente, contudo, aumento do volume pluviométrico poderia amenizar essas condições. Os resultados desse trabalho, sugerem possível processo de aclimatação após o tempo de exposição, minimizando os efeitos dos tratamentos impostos.