ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Plasticidade fenotípica de *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) em ambiente insular e continental na baía Babitonga em São Francisco do Sul, Santa Catarina

França¹, Andressa Cristina; Melo Jr., João Carlos Ferreira^{1,2}; Soffiatti Patrícia³

¹Departamento de Ciências Biológicas, Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) – Rua Paulo Maschitzki, 10, CEP 89219-710, Joinville, SC, Brasil. ²Programa de Pós-Graduação em Saúde e Meio Ambiente, Laboratório de Morfologia e Ecologia Vegetal, joao.melo@univille.br ³Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná – Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba, Paraná.

Artigo recebido em 05/02/2020 e Aceito em 11/02/2021.

RESUMO

A plasticidade fenotípica permite às plantas a sobrevivência e o sucesso reprodutivo face às mudanças ambientais. O presente estudo teve como objetivo investigar, numa escala individual, qual a resposta de *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) em condições ambientais distintas: em ambiente insular e continental na Baía Babitonga, São Francisco de Assis, Santa Catarina. Para tanto, foram selecionadas duas populações compostas por 10 indivíduos em cada área de estudo, dos quais foram coletadas 35 folhas maduras de sol para análises morfoanatômicas e fisiológicas, e análise química do solo realizada em amostras compostas de 10 coletas por área. O tratamento estatístico foi realizado em ambiente R e também foi calculado o Índice de Plasticidade fenotípica (IPF). O ambiente insular apresenta solo menos ácido, com maior conteúdo de matéria orgânica, salinidade e disponibilidade de água quando comparado ao continental, porém com menor capacidade de troca catiônica (CTC), além de maior intensidade de luz. Em razão das diferenças entre as áreas, diferenças estatisticamente significativas foram registradas para os atributos morfoanatômicos e fisiológicos das populações, representando ajustes funcionais desencadeados por um filtro ambiental. Os três primeiros eixos da PCA explicaram 64,35% da variação de dados, como maior expressão dos atributos de massas fresca e seca, teores de clorofila e espessura do parênquima lacunoso. Para o IPF, todos os atributos avaliados mostraram valores abaixo de 0,3, indicando o baixo potencial plástico entre as populações de *P. cattleianum*, porém com diferenças nas estratégias ecológicas que otimizam a alocação de recursos nos ambientes estudados.

Palavras-chave: ajustes funcionais, arazá, floresta ombrófila, heterogeneidade ambiental, potencial plástico.

Phenotypic plasticity of co-current *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) in an island and continental environment at Babitonga Bay in São Francisco do Sul, Santa Catarina

ABSTRACT

Phenotypic plasticity allows plants survival and to reproduce successfully in face of environmental changes. This study aimed to investigate, on an individual scale, the response of *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) in two distinct environmental conditions: island and mainland in Babitonga Bay, São Francisco do Sul, Santa Catarina. For this purpose, two populations comprising 10 individuals were selected in each study area, from which 35 mature sun leaves were collected for morphoanatomical and physiological analysis; soil chemical analysis was performed on composed samples formed by 10 collections per area. The statistical treatment was performed in R environment and also the Phenotypic Plasticity Index (IPF) was calculated. The island environment has less acid soils, with higher organic matter content, salinity and water availability when compared to mainland, but with lower cation exchange capacity (CTC), besides higher light intensity. Due to areas heterogeneity, statistically significant differences were recorded for the morphoanatomical and physiological attributes of the populations, representing functional adjustments triggered by environmental filters. The first three axes of the PCA explained 64.35% of the data variation, with greater expression of fresh and dry mass attributes, chlorophyll contents and thickness of spongy parenchyma. For the IPF, all the attributes evaluated showed values below 0.3, indicating the low plastic potential among *P. cattleianum* populations, but with differences in ecological strategies that optimize resource allocation in the studied environments.

Keywords: arazá, environmental heterogeneity, functional adjustments, ombrophilous forest, plastic potential.

Introdução

Mudanças nos fatores ambientais podem causar respostas nas plantas em vários níveis: celular, fisiológico, morfológico, afetando características relacionadas à função e ao desenvolvimento, ocasionadas pela plasticidade fenotípica (Gratani, 2014). A plasticidade fenotípica é um fenômeno biológico que pode ser definida como a capacidade de um mesmo genótipo de expressar distintos fenótipos de acordo com as condições ambientais (Bradshaw, 2006; Arnold et al., 2019; Bongers et al., 2019).

Os estudos sobre a variação fenotípica das populações vegetais permitem a compreensão da capacidade de sobrevivência, persistência, deslocamento e distribuição geográfica das espécies nos sistemas naturais (Valladares et al., 2014), especialmente ao se considerar as mudanças climáticas (Arnold et al., 2019). Entender como as plantas reagem às modificações constantes do ambiente e quais os mecanismos de ajustes desenvolvidos são informações relevantes que possibilitam prever como os ecossistemas e a sua composição serão afetados (Matesanz et al., 2010; Gratani, 2014). Morfologicamente, órgãos reprodutivos e vegetativos das plantas podem estar envolvidos nas respostas adaptativas à otimização de recursos associadas à heterogeneidade ambiental. A disponibilidade luminosa é um dos fatores cruciais para a sobrevivência e o desenvolvimento, afetando diretamente a resposta das espécies vegetais, podendo gerar alterações morfoanatômicas e/ou fisiológicas, e interferindo na composição e no funcionamento das comunidades vegetais (Givnish, 1988; Cardoso e Lomônoco, 2003; Gratani et al., 2006). A intensidade luminosa está diretamente relacionada aos mecanismos de crescimento e desenvolvimento, afetando a expansão foliar, o crescimento (Mendonça et al., 2019) e a sucessão ecológica (Poorter, 2001; Wu et al., 2019).

Por apresentar elevado grau de exposição e tolerância, desenvolvendo respostas rápidas às

mudanças no ambiente, a folha é o órgão vegetal que permite mais facilmente a observação das variações fenotípicas em plantas (Chagas et al., 2008). A disponibilidade e a qualidade da luz incidente podem afetar vários traços funcionais, como a área específica, a espessura do limbo e de seus componentes internos, o tamanho da folha, dentre outros (Legner et al., 2014). A área específica foliar (AEF), que compreende a razão entre a área foliar e o peso seco foliar, é um traço funcional importante, diretamente relacionado à absorção da luz e a longevidade da folha (Wright et al. 2004), utilizado nos estudos de plasticidade fenotípica foliar. As folhas tendem desenvolver uma maior AEF quando crescem em ambientes de pouca luz, aumentando assim a eficiência na absorção da luz e garantindo a fixação de carbono, devido ao aumento na área foliar em detrimento de uma diminuição da espessura total (Pérez-Harguindeguy et al., 2013; Gratani, 2014).

A espécie arbórea *Psidium cattleianum* Sabine, popularmente conhecida como araçá, pertence à família Myrtaceae. Ocorre tanto em ambientes abertos de restinga, como na floresta ombrófila, apresentando extensa plasticidade fenotípica (Silva e Medeiros, 2005). Segundo os mesmos autores, quando desenvolvidos em ambientes distintos, os indivíduos desta espécie apresentam ampla variação de fenótipos, em especial em sua arquitetura.

Este estudo tem como objetivo investigar, numa escala individual, quais as respostas morfoanatômicas e fisiológicas de *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) em populações ocorrentes em duas condições ambientais distintas: em ambiente continental e insular, na baía Babitonga, São Francisco do Sul/SC. Sugere-se que a heterogeneidade ambiental seja preditora da expressão de diferentes fenótipos entre as populações dos dois ambientes, com maior xeromorfismo na população insular.

Material e métodos

Área de estudos

Localizada na costa do litoral norte de Santa Catarina, a baía Babitonga (26°02' - 26°28'S e 48°28' - 48°50'W) possui uma área de aproximadamente 7.267,7 hectares, sendo a terceira maior formação de águas marinhas e a maior baía navegável do Estado de Santa Catarina, possuindo um arquipélago com 24 ilhas (Gerhardinger et al., 2018)

Com aproximadamente 160 km² de lâmina d'água é contornada pelos municípios de Araquari, Balneário Barra do Sul, Garuva, Itapoá, Joinville e São Francisco do Sul. É uma das áreas estuarinas de maior importância de Santa Catarina, pois comporta uma alta biodiversidade e importantes remanescentes de Mata Atlântica, distribuídos em floresta ombrófila, restinga e manguezal (Melo Júnior et al., 2017). O clima da região é

mesotérmico úmido, a temperatura média anual é de 20,5°C e precipitação média de 2.265 mm (Mello & Vieira, 2017).

Foram selecionadas para a coleta dos dados duas áreas: uma localizada na porção continental do Município de São Francisco do Sul, no Distrito do Saí; e a Ilha das Flores, situada no canal central da baía Babitonga (Figura 1). A porção continental pertencente ao Centro de Estudos e Pesquisas Ambientais (CEPA) da

Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), localizada sob as coordenadas 26° 28'S e 48° 79'W. A ilha das Flores está sob as coordenadas geográficas 26°15'25. 63'S e 48°41'17.91'O. A vegetação da porção continental é composta por Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas. Na Ilha são encontradas vegetações de Restinga, Manguezal e Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas com 104 espécies vegetais, nativas e introduzidas (Mouga et al., 2018).

Figura 1. Localização espacial das áreas amostrais de ocorrência de *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) na baía Babitonga, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil.

Determinação, coleta e processamento de material biológico

Os indivíduos foram coletados em Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas. Em cada área foram selecionadas duas populações de *P. cattleianum* com tamanho amostral de 10 indivíduos cada, os quais tiveram sua altura (m) e diâmetro do caule (cm) mensuradas em campo com auxílio de fita métrica e régua telemétrica, respectivamente. De cada indivíduo amostral foram coletadas 35 folhas entre o 3° e 6° nós a partir do ápice do ramo, totalmente expandidas e expostas ao sol. Destas, 25 folhas foram utilizadas para a análise morfológica dos seguintes atributos funcionais: massa fresca (g) e massa seca foliar (g) estimadas em balança analítica de precisão França, A. C.; Melo Jr., J. C. F.; Soffiatti, P.

Shimadzu - modelo AUY220; conteúdo de água (g) dado pela diferença entre as massas fresca e seca, área foliar (cm²) através da digitalização em scanner de mesa acoplado ao software Sigma Scan Pro 5.0.; área específica foliar (cm².g⁻¹) dada pela razão entre a área e a massa seca (Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Outras cinco folhas foram fixadas em solução de formalina, etanol e ácido acético FAA70%, para posterior análise anatômica, a qual considerou como atributos funcionais: a espessura dos parênquimas paliádico e lacunoso (µm), a razão entre os parênquimas paliádico e lacunoso, a espessura da hipoderme (µm), a espessura da epiderme + cutícula das superfícies adaxial e abaxial (µm) e a espessura total do limbo (µm). Esses atributos foram

mensurados a partir de seções transversais do terço médio da folha produzidas manualmente com auxílio de lâmina de aço, seguindo procedimentos usuais utilizados em anatomia vegetal, coradas com azul de toluidina, desidratadas em série alcoólica e montadas em lâminas histológicas permanentes com o uso de verniz vitral (Paiva et al., 2006). A biometria dos tecidos foliares foi obtida por meio da captura de imagem em software Dino-Eye (Anmo Eletronics Corporation) acoplado ao fotomicroscópio Olympus CX 200.

Os atributos funcionais ecofisiológicos consideraram os teores de clorofila e a temperatura foliar. Para mensurar os teores de clorofila *a*, *b* e total, foram selecionadas 5 folhas recém coletadas de cada indivíduo, das quais foram maceradas 0,5 g do limbo foliar, com adição de 5 ml de acetona 80%. O material resultante foi transferido para tubos de centrifugação revestidos com papel alumínio. As amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 2000 RPM em centrífuga Sigma 3K12. Seguida a centrifugação, 0,5 ml do extrato foi diluído em 5 ml de acetona 80%, sendo uma alíquota transferida para cubetas. As leituras foram realizadas nos comprimentos de onda de 645 e 663 nm, para estimar, respectivamente, os conteúdos de clorofilas *a* e *b* em espectrofotômetro Biospectro SP 22 com (Whitham et al., 1971). Foi calculada a razão entre os teores de clorofila *a* e *b*. A estimativa da temperatura do mesófilo foliar foi tomada por meio de termômetro digital de contato Instrutherm modelo TI-445, com *n*=20.

Determinação das variáveis ambientais

Foi coletada uma amostra de solo adjacente a cada indivíduo amostral em cova com profundidade de 15 cm, descartando a serapilheira. Foram homogeneizadas as 10 amostras pertencentes a cada área de estudo para a produção de duas amostras compostas. A análise nutricional do solo foi realizada pelo Laboratório de Análise de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), seguindo metodologia padrão recomendada pela EMBRAPA (2013). Para determinar a disponibilidade hídrica do solo foi empregado o método da umidade gravimétrica, no qual as amostras de solo são pesadas logo após a coleta, depois secas em estufa a 105-110°C durante 72 horas e pesadas novamente. A diferença de

massa indica a água disponível no solo (EMBRAPA, 2013). A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi mensurada uma vez sobre a copa de cada indivíduo amostral por meio de luxímetro digital (Li-250A LICOR, USA).

Tratamento estatístico

Médias e desvios-padrão foram calculados para todos os atributos biológicos funcionais verificados nas populações de *P. cattleianum* nos ambientes continental e insular. As médias foram comparadas por meio do Teste *t* de Student, enquanto o peso de cada atributo no conjunto de dados foi avaliado por meio da análise de componentes principais (PCA), ambos em ambiente estatístico R (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; www.r-project.org; R Core Team 2015). Também foi calculado o índice de plasticidade fenotípica (IPF) de cada atributo, onde $IPF = \text{média máxima} - \text{média mínima} / \text{média máxima}$ (Valladares et al., 2006).

Resultados

Variáveis ambientais

A análise química dos solos (Tabela 1) evidenciou solos ácidos em ambas as áreas, apresentando o solo continental maior acidez. Os teores de matéria orgânica (MO), salinidade (Na) e a disponibilidade de água (umidade gravimétrica) foram significativamente mais altos no ambiente insular quando comparado ao continente. Os teores dos macronutrientes fósforo (P) e cálcio (Ca) foram encontrados em maiores níveis na formação continental, enquanto o potássio (K) e o magnésio (Mg) obtiveram maiores valores na ilha. A soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC), assim como a acidez real que determina a efetiva CTC do solo ($H + Al$), foram maiores no ambiente continental. A radiação fotossinteticamente ativa apresentou maior incidência sobre as plantas do ambiente insular (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização nutricional dos solos, disponibilidade hídrica e radiação fotossinteticamente ativa das formações continental e insular de ocorrência de *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) na baía Babitonga, São Francisco do Sul/SC. Legenda: *Diferença estatística significativa ao nível de $p < 0,05$ (t de Student). Ca: cálcio, Mg: magnésio, CTC: capacidade de troca catiônica, MO: matéria orgânica, $H + Al$: hidrogênio

+ alumínio, P: fósforo, K: potássio, pH: potencial hidrogeniônico, PAR: radiação fotossinteticamente ativa, Na: sódio, SB: soma de bases, V: saturação por bases.

Variável ambiental	Ambiente	
	Continente	Ilha
% Argila m/v	24	24
pH-Água 1:1	4,4	4,9
Índice SMP	4,6	4,7
P (mg/dm ³)	5,7	4,1
K (mg/dm)	73,6	112,2
MO (%)	3,8	8
Al (cmolc/dm ³)	2,5	2,25
Ca (cmolc/dm)	1,3	0,6
Mg (cmolc/dm)	0,8	1
H + Al (cmolc/dm ³)	22,5	18,7
CTC (cmolc/dm)	24,77	20,59
Soma Bases	2,27	1,89
Salinidade	29	81,8
Umidade Gravimétrica(g)	14,16*	19,15*
PAR (μmol.m ² .s ⁻¹)	1.269,9*	1.412,6*

Atributos morfoanatômicos e ecofisiológicos

Dos atributos morfoanatômicos foliares analisados em *P. cattleianum*, a massa fresca foliar (g), massa seca foliar (g), conteúdo de água (g), área foliar (cm²), epiderme adaxial + cutícula (μm), hipoderme (μm), epiderme abaxial + cutícula (μm), parênquima lacunoso (μm) e espessura total do limbo (μm) apresentam diferenças estatisticamente significativas entre as duas populações (Tabela 2, Figura 2). A razão entre os parênquimas paliçádico e lacunoso foi maior para o ambiente insular. Exceção se fez a espessura do parênquima paliçádico e a área específica foliar, atributos que não apresentaram diferença entre as populações. Os atributos ecofisiológicos de teores de clorofila *a*, *b* e total apresentaram diferença estatisticamente significativas, sendo encontrados em maior proporção na população da formação insular. A razão entre os teores de clorofila *a* e *b* foi menor para o ambiente continental. A temperatura do

mesofilo foi maior na ilha, com média de 26,05°C. Para o IPF, todos os atributos avaliados mostraram valores abaixo de 0,3, indicando o baixo potencial plástico entre as populações.

A análise de componentes principais (PCA) mostrou que os três primeiros eixos explicaram juntos 64,35 % da variância total dos dados (Figura 3). Os atributos massas fresca e seca foliar estiveram relacionados ao eixo 1 que explicou 29,85% da variação. O eixo 2, representado pelos teores de clorofila *a* e *b*, explicou 19,17%, enquanto o eixo 3, com explicação de 15,33% da variação dos dados, foi representado pela espessura do parênquima lacunoso.

Tabela 2. Valores médios, desvios-padrão, teste t de Student e valores de Índice de Plasticidade Fenotípica dos atributos funcionais arquiteturais, morfoanatômicos e ecofisiológicos de *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) nos ambientes continental e insular da baía Babitonga, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil.

Atributo	Ambiente				
	Continente	Ilha	Teste t	p	IPF
Altura da planta (m)	7,2±1,83	6,8±1,65	2,56	0,01	0,05
Diâmetro do caule (cm)	19,27±10,03	17,16±9,39	2,41	0,02	0,10
Massa Fresca Foliar (g)	1,35±0,35	1,1±0,37	7,49	<0,001	0,18
Massa Seca Foliar (g)	0,48±0,14	0,38±0,13	8,16	<0,001	0,20
Conteúdo de água (g)	0,87±0,23	0,72±0,27	6,46	<0,001	0,16
Área foliar (cm ²)	29,22±7,71	22,95±6,70	9,68	<0,001	0,21
Área específica foliar (cm ² .g ⁻¹)	62,21±9,80	62,13±12,48	0,08	0,94	0,001
Epiderme adaxial + cutícula (µm)	20,58±3,95	21,86±2,90	4,14	<0,001	0,05
Hipoderme (µm)	32,63±6,11	26,03±5,32	12,90	<0,001	0,20
Epiderme abaxial + cutícula (µm)	15,81±2,40	15,36±1,68	2,46	0,01	0,02
Parênquima paliçádico (µm)	149,01±33,52	145,34±27,16	1,34	0,18	0,02
Parênquima lacunoso (µm)	221,27±40,66	198,17±46,23	5,92	<0,001	0,10
Razão parênquima paliçádico/lacunoso	0,67	0,73	-	-	-
Espessura total do limbo (µm)	439,31±40,2	406,76±39,7	5,4	<0,001	0,07
Temperatura do mesofilo (°C)	23,09±0,61	26,05±2,78	16,47	<0,001	0,11
Clorofila a	3,05±0,90	4,22±1,19	12,32	<0,001	0,27
Clorofila b	2,88±0,85	3,74±0,73	12,03	<0,001	0,22
Razão clorofila a/b	1,06	1,13	-	-	-
Clorofila total	5,94±1,61	7,96±1,83	13,08	<0,001	0,25

Figura 2. Anatomia foliar em secção transversal de *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) nos ambientes continental (A) e insular (B) da baía Babitonga, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil. Legenda: Epadax: epiderme da face adaxial; Hipo: hipoderme; Ppal: parênquima paliçádico; Plac: parênquima lacunoso; Epabax: epiderme da face abaxial.

A análise de componentes principais (PCA) mostrou que os três primeiros eixos explicaram juntos 64,35 % da variância total dos dados (Figura 3). Os atributos massas fresca e seca foliar estiveram relacionados ao eixo 1 que explicou 29,85% da variação. O eixo 2, representado pelos teores de clorofila a e b, explicou 19,17%, enquanto o eixo 3, com explicação de 15,33% da variação dos dados, foi representado pela espessura do parênquima lacunoso.

Figura 3. Análise de componentes principais (PCA) dos atributos funcionais das populações de *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) coocorrentes em ambiente continental e insular na baía Babitonga, São Francisco do Sul, SC. Os três primeiros eixos principais explicam 64,35% da variância dos dados.

Discussão

Os solos dos dois ambientes são classificados como ácidos e apresentam baixos valores de cálcio e magnésio e alto teor de alumínio, comum para solos tropicais com acidez elevada (EMBRAPA, 2013). O solo continental apresentou um maior valor de capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases e saturação por bases, o que reflete uma maior fertilidade em relação ao solo insular. Contudo, sua fertilidade ainda é considerada baixa devido a ser altamente ocupado por íons H^+ e Al^{3+} , os quais apresentam potencial tóxico para as plantas, dificultando a absorção de nutrientes minerais (Ronquim, 2010). Ambos os solos apresentaram saturação por bases inferior a 50%, sendo classificados como distróficos (EMBRAPA, 2013), e com saturação do Al^{3+} maior que 50% na CTC. Tais fatores associados classificam os solos como alíticos, o que representa solos com baixa fertilidade e que afetam significativamente o desenvolvimento de raízes (EMBRAPA, 2013). A salinidade neste estudo, mais acentuada no solo insular, é considerada um fator relevante no desenvolvimento vegetal, pois atua como fator limitante ao crescimento em altura e assimilação de nutrientes (Cavalcanti et al., 2005). Tal fato, corrobora o encontrado neste estudo, o qual constatou um menor desenvolvimento em altura pelas plantas que ocorrem da ilha. O solo insular apresentou maior disponibilidade de potássio, sendo quase duas vezes maior que na ilha. Este

elemento tem ação importante no metabolismo das plantas, uma vez que ameniza as consequências negativas que a alta salinidade exerce sobre as mesmas, controlando o transporte de sódio pelo xilema, além de evitar o seu acúmulo nos órgãos aéreos (Rodrigues, 2012).

Fatores ambientais como luminosidade, temperatura, gravidade, ventos e disponibilidade de água influenciam decisivamente nas adaptações foliares. Espécies que desenvolvem adaptações para ambientes sombreados investem na produção de folhas maiores, principalmente no que se refere à expansão da superfície foliar, com incremento de superfície para a absorção de luz (Poorter, 2001). A radiação fotossinteticamente ativa incidente foi maior sobre os indivíduos ocorrentes na Ilha, o que se reflete em uma menor área foliar comparada àquela encontrada no continente. O mesmo foi verificado em estudos para ambiente de restinga, onde ocorre a diminuição da área foliar em detrimento do aumento da intensidade luminosa (Todorovski et al., 2015; Bächtold e Melo Júnior, 2015; Melo Júnior e Boeger, 2016; Amorim e Melo Junior, 2017a). Para ambientes com alta incidência luminosa, a redução do tamanho foliar diminui o contato da superfície da folha com o meio, o que reduz a perda de água por transpiração e os efeitos do aquecimento (Fini et al., 2010), demonstrado neste estudo pela maior temperatura do mesófilo foliar nas folhas do ambiente insular associada à

menor área foliar. Para tanto, um outro ajuste estrutural comum a indivíduos que vivem sob esta condição é o aumento da espessura da epiderme adaxial, a fim de evitar o superaquecimento do mesofilo (Lee et al., 1990), o que foi evidenciado na população insular, corroborando o observado por Melo Júnior et al. (2017) e Amorim e Melo Junior (2017b) para *Tibouchina clavata*. Representadas pelo primeiro eixo da PCA, as variáveis massa seca e fresca se mostram maiores no ambiente continental. No entanto, para ambientes mais sombreados, espera-se folhas menos densas (Reich et al., 2003). A maior produção de biomassa, também evidenciada pela maior área foliar, pode ter sido influenciada pela maior concentração de fósforo no solo deste ambiente, sendo este essencial no metabolismo de carboidratos (Cabral et al., 2018).

Para os indivíduos do continente foi verificado um maior investimento no parênquima lacunoso, o que pode ser correlacionado à menor incidência luminosa no ambiente continental. O espaço intracelular ocorrente no parênquima lacunoso favorece o transporte de gases no mesofilo, aumentando a eficiência de absorção luminosa (Larcher et al., 2015; Cabral et al., 2018), estratégia necessária para um melhor desenvolvimento da planta. Nos indivíduos insulares, sujeitos à maior radiação, a razão entre o parênquima paliádico e o lacunoso se mostrou maior, o que denota um maior investimento no parênquima que maximiza a absorção de luz direta através de suas células em formato colunar (Fernandes et al., 2014). Associado à menor espessura total do limbo foliar, que contribui para uma melhor dissipação da temperatura interna do mesofilo, observa-se um conjunto de características que favorece a maior eficiência na manutenção dos fotossistemas (Amorim e Melo Junior, 2017a), já que estas folhas estão expostas a altas temperaturas. A presença de hipoderme foi verificada para todos os indivíduos em ambos os ambientes, apresentando diferença significativa quanto a sua espessura, sendo maior na população continental. A presença deste tecido é descrita para outras espécies do gênero *Psidium* assim como para outras Myrtaceae (Gomes et al., 2009).

Outro ajuste necessário à variação de irradiância está nos teores de clorofila, em razão da luz estar diretamente associada à produção deste pigmento (Atroch et al., 2001; Paiva et al., 2003). Segundo os mesmos autores, intensas radiações ocasionam a degradação das clorofilas, e em contrapartida ambientes sombreados propiciam aumento em seus teores, com prevalência da

clorofila b. É verificado para folhas com maior exposição à luz uma maior síntese de clorofila a, sendo que a clorofila b é sintetizada em menor escala e atua como pigmento acessório, podendo converter-se em clorofila a auxiliando na absorção de luz (Xu et al., 2001; Melo Júnior et al., 2017). Esse fato corrobora os resultados encontrados neste estudo para ambos os ambientes. Mesmo o ambiente continental apresentando menor radiação incidente sobre as plantas de *P. cattleianum* em comparação ao ambiente insular, deve-se considerar que os indivíduos no continente estavam instalados na borda da floresta ou em clareiras naturais, o que permite que estes recebam grande quantidade de luz ao longo do dia. A razão entre clorofila a/b ficou menor para o ambiente continental que possui uma menor incidência luminosa. A mesma relação foi registrada para a espécie *Pseudobombax grandiflorum* (Cav.) A. Robyns (Malvaceae) por Portes et al. (2010) em função do maior nível de sombreamento as quais estavam submetidas.

No presente estudo, fica evidenciado que *P. cattleianum* apresenta ajustes ecofisiológicos e morfoanatômicos expressivos, sendo o teor de clorofila o atributo que apresentou maior índice de plasticidade fenotípica. A plasticidade fenotípica pode contribuir para que as espécies ocupem uma gama de ambientes, conferindo tolerância a heterogeneidade ambiental e permitindo prever alteração na sua distribuição e composição de suas comunidades (Gratani, 2014). As diferentes pressões seletivas que atuam sobre a plasticidade refletem diferentes respostas entre espécies e populações, quando há limitação de recursos ou estresse ambiental (Valladares et al., 2007; Gratani, 2014). Para o Índice de Plasticidade Fenotípica, todos os atributos avaliados mostraram valores abaixo de 0,3, indicando o baixo potencial plástico observado entre as populações, porém com diferenças nas estratégias ecológicas que otimizam a alocação de recursos nos ambientes estudados.

Conclusão

O estudo realizado evidencia que a heterogeneidade ambiental entre os ambientes insular e continental foi preditora de ajustes estruturais e ecofisiológicos nas populações de *P. cattleianum* no contexto da baía Babitonga. A população do ambiente continental apresentou maior desenvolvimento, o que evidencia a maior alocação de biomassa. A população do ambiente insular apresentou caracteres mais voltados para evitar a perda de água, como epiderme adaxial mais

espessada e área foliar reduzida. Por outro lado, apresentou maior investimento em pigmentos fotossintetizantes para melhor fixar carbono em ambiente mais restritivo em relação à nutrição edáfica e disponibilidade de água.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Fundo de Amparo à Pesquisa da Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE.

Referências

- Amorim, M.W., Melo Junior, J.C.F. de., 2017a. Functional diversity of restinga shrub species on the coastal plain of southern Brazil. *International Journal of Development Research* 7, 13189-13201.
- Amorim, M.W., Melo Junior, J.C.F. de., 2017b. Plasticidade morfoanatômica foliar de *Tibouchina clavata* (Melastomataceae) ocorrente em duas formações de restinga. *Rodriguésia* 68, 545-555.
- Arnold, P.A., Kruuk, L.E.B., Nicotra, A.B., 2019. How to analyse plant phenotypic plasticity in response to a changing climate. *New Phytologist* 222, 1235-1241.
- Atroch, E.M.A.C., Soares, A.M., Alvarenga, A.A. de, Castro, E.M. de., 2001. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forficata* LINK submetidas à diferentes condições de sombreamento. *Ciência e Agrotecnologia* 25, 853-862.
- Bächtold, B.A., Melo Junior, J.C.F., 2015. Plasticidade morfológica de *Calophyllum brasiliense* Camb. (Calophyllaceae) em duas formações de restinga no sul do Brasil. *Acta Biologica Catarinense* 2, 21-32.
- Bongers, F.J., Douma, J.C., Iwasa, Y., Pierik, R., Evers, J.B., Anten, N.P.R., 2019. Variation in plastic responses to light results from selection in different competitive environments—A game theoretical approach using virtual plants. *PLOS Computational Biology* 15, e1007253. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007253>
- Bradshaw, A.D., 2006. Unravelling phenotypic plasticity – why should we bother? *New Phytologist* 170, 644-648.
- Cabral, R.D.C., Melo Junior, J.C.F., Matilde-Silva, M., 2018. Plasticidade morfoanatômica foliar em *Smilax campestris* (Smilacaceae) em gradiente ambiental de restinga, SC, Brasil. *Hoehnea* 45, 173-183.
- Cardoso, G.L., Lomaco, C., 2003. Variações fenotípicas e potencial plástico de *Eugenia calycina* Cambess. (Myrtaceae) em uma área de transição cerrado-vereda. *Revista Brasileira de Botânica* 26, 131-140.
- Cavalcanti, M.L.F., Fernandes, P.D., Gheyi, H.R., Barros Junior, G., Soares, F.A.L., Siqueira, E.C., 2005. Tolerância da mamoneira BRS 149 à salinidade: Germinação e características de crescimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 9, 57-61.
- Chagas, M.G.S., Silva, M.D., Galvêncio, J.D., Pimentel, R.M., 2008. Variações foliares em grupos funcionais de uma paisagem de restinga, Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 1, 50-63.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5 ed. EMBRAPA, Brasília.
- Fernandes, V.F., Bezerra, L.A., Mielke, M.S., Silva, D.C., Costa, L.C., 2014. Anatomia e ultraestrutura foliar de *Ocimum gratissimum* sob diferentes níveis de radiação luminosa. *Ciência Rural* 44, 1037-1042.
- Fini, A., Ferrini, F., Frangi, P., Amoroso, G., Giordano, C., 2010. Growth, leaf gas exchange and leaf anatomy of three ornamental shrubs grown under different light intensities. *European Journal of Horticultural Science* 75, 111-117.
- Gerhardinger, L.C., Zank, S., Carvalho, F.G., Herbst, D.F., Cunha, S., Cremer, M.J. 2018. Governabilidade estrutural do subsistema natural do Ecossistema Babitonga (Santa Catarina: Brasil). CEPSUL Biodiversidade e Conservação Marinha 7, eb2018001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328874179_Governabilidade_estrutural_do_subsistema_natural_do_Ecossistema_Babitonga_Santa_Catarina_Brasil.
- Givnish, T., 1988. Adaptation to sun and shade a whole-plant perspective: Ecology of photosynthesis in sun and shade. *Australian Journal of Plant Physiology* 15, 63-92.
- Gomes, S.M., Somavilla, N.S.D.N., Gomes-Bezerra, K.M, Miranda, S.C. de, Carvalho, P.S., Graciano-Ribeiro, D., 2009. Anatomia foliar de espécies de Myrtaceae: contribuições à taxonomia e filogenia. *Acta Botanica Brasilica* 23, 224-238.
- Gratani, L., Covone, F., Larcher, W., 2006. Leaf plasticity in response to light of three evergreen

- species of the Mediterranean maquis. *Trees* 20, 549-558.
- Gratani, L., 2014. Plant Phenotypic Plasticity in Response to Environmental Factors. *Advances in Botany* 2014, 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/208747>
- Larcher, L., Nogueira, G., Boeger, M.R.T., 2015. Morphological Plasticity and Gas Exchange of *Ligustrum lucidum* T. Aiton in Distinct Light Conditions. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 58, 877-885.
- Lee, D.W., Bone, R.A., Tarsis, S.L., Storch, D., 1990. Correlates of Leaf Optical Properties in Tropical Forest Sun and Extreme-Shade Plants. *American Journal of Botany* 77, 370-380.
- Legner, N., Fleck, S., Leuschner, C., 2014. Within-canopy variation in photosynthetic capacity, SLA and foliar N in temperate broad-leaved trees with contrasting shade tolerance. *Trees-Structure and Function* 28, 263-280.
- Matesanz, S., Gianoli, E., Valladares, F., 2010. Global change and the evolution of phenotypic plasticity in plants. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1206, 35-55.
- Melo Junior, J.C.F., Boeger, M.R.T., 2016. Leaf traits and plastic potential of plant species in a light-edaphic gradient from a Restinga in southern Brazil. *Acta Biologica Colombiana* 21, 51-62.
- Melo Junior, J.C.F., Amorim M.W., Arriola I.A., Dirksen J.S., Andreacci, F., 2017. Morphoanatomical adjustments of *Tibouchina clavata* (Melastomataceae) in ombrophilous forest and restinga forest. *Ciência e Natura* 39, 484-493.
- Mello, Y., Vieira, C.V. 2017. Características físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Joinville (SC). *Acta Biológica Catarinense* 4, 5-17.
- Mendonça, A.M.C., Lira, J.M.S., Melo, N.C., Rodrigues, M., Barbosa, J.P.R.A.D., 2019. Phenotypic Plasticity of *Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum Under Different Light Conditions. *Floresta e Ambiente* 26, e20180376. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.037618>.
- Mouga, D.M.D. da S., Feretti, V., Dec, E., 2008. Caracterização da Ilha das Flores, Baía de Babilonga, Santa Catarina, Brasil; *Acta Biológica Catarinense* 5, 56-64.
- Paiva, E.A.S., Isaías, R.M.S., Vale F.H.A., Queiroz, C.G.S., 2003. The influence of light intensity on anatomical structure and pigment contents of *Tradescantia palida* (Rose) Hunt. cv. *purpurea* Boom (Commelinaceae) leaves. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 46, 647- 624.
- Paiva, J.G.A de, Frank-de-Carvalho, S.M, Magalhaes, M.P., Graciano-Ribeiro, D., 2006. Verniz vitral incolor 500®: uma alternativa de meio de montagem economicamente viável. *Acta Botanica Brasilica* 20, 257-264.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M.S., Cornwell, W.K., Craine, J.M., Gurvich, D.E., Urcelay, C., Veneklaas, E.J., Reich, P.B., Poorter, L., Wrigh, T. I.J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J.G., De Vos, A.C., Buchmann, N., Funes, G., Quétier, F., Hodgson, J.G., Thompson, K., Morgan, H.D., Ter Steege, H., Van der Heijden, M.G.A., Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti, M.V., Conti, G., Staver, A.C., Aquino, S., Cornelissen, J.H.C., 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 61, 167-234.
- Poorter, L., 2001. Light-dependent changes in biomass allocation and their importance for growth for rain forest tree species. *Functional Ecology* 15, 113-123.
- Portes, M.T., Damineli, D.S.C., Robeiro, R, Monteiro, J.A.F., Souza, G.M., 2010. Evidence of higher photosynthetic plasticity in the early successional *Guazuma ulmifolia* Lam. compared to the late successional *Hymenaea courbaril* L. grown in contrasting light environments. *Brazilian Journal of Biology* 70, 75-83.
- Reich P.B., Wright, I.J., Cavander-Bares, J., Craine, J.M., Oleksyn, J., Westoby, M., 2003. The evolution of plant functional variation: Traits, spectra, and strategies. *International Journal of Plant Sciences* 164, S143-S164.
- Rodrigues, C.R.F., Silveira, J.A.G., Silva, E.N., Dutra, A.T.B., Viégas, R.A., 2012. Transporte e distribuição de potássio atenuam os efeitos tóxicos do sódio em plantas jovens de pinhão-mansão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36, 223-232.
- Todorovski, E.C.D., Melo Junior, J.C.F., Amorim, M.W., Silva, M.M., 2015. Potencial plástico de *Nectandra oppositifolia* Nees. (Lauraceae) em fisionomias de floresta ombrófila densa e restinga. *Natureza on line* 13, 70-76. Disponível em: http://www.naturezaonline.com.br/natureza/conteudo/pdf/05_TodorovskiECDetal_7076.pdf. Acesso: 23/07/2019
- Valladares, F., Sanches-Goems, D., Zavala, M.A., 2006. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology* 94, 1103-1116.

- Valladares F., Gianoli, E., Gomez J.M., 2007. Ecological limits to plant phenotypic plasticity. New Phytologist 176, 749–763. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.14698137.2007.02275.x>
- Valladares, F., Matesanz, S., Guilhaumon, F., Araújo, M.B., Balaguer, L., Benito- Garzón, M., Cornwell, W., Gianoli, E., Kleunen, M.V., Naya, D.E., Nicotra, A.B., Poorter, H.E, Zavala, M., 2014. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. Ecology Letters 17, 1351-1364.
- Whitham, F.H., Blaydes, D.F., Devlin, R.M., 1971. Experiment in plant physiology, 1 ed. D. Van Nostrand Company. New York
- Wright, I.J., Reich, P.B., Westoby, M., Ackerly, D.D., ET AL., 2004. The worldwide leaf economics spectrum. Nature 428, 821–827.
- Wu, J.W., Su, Y., Wang, J.H., He, Q., Qiu, Q., Ma, J.W., 2018. Morphological and physiological acclimation of *Catalpa bungei* plantlets to different light conditions. Photosynthetica 56, 537-548.
- Xu, H., Vavilin, D., Vermaas, W., 2001. Chlorophyll b can serve as the major pigment in functional photosystem II complex of cyanobacteria. Proceedings of the National Academy of Sciences 98, 14168-14173.