

MORFOANATOMIA FOLIAR DE ESPÉCIES VEGETAIS EM AFLORAMENTO ROCHOSO ‘PEDRA DOS SOARES’ NO ESPÍRITO SANTO

LEAF MORPHOANATOMY OF PLANT SPECIES IN THE “PEDRA DOS SOARES” ROCKY
OUTCROP, ESPÍRITO SANTO, BRAZIL

MORFOANATOMÍA FOLIAR DE ESPECIES VEGETALES EN EL AFLORAMIENTO
ROCOSO “PEDRA DOS SOARES”, ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Amanda Cristina Garito Sanches¹

Geovane da Silva Paixão²

Marcos Roberto Furlan³

Elisa Mitsuko Aoyama⁴

RESUMO: Os afloramentos rochosos caracterizam-se por condições ambientais extremas, como alta incidência solar, elevadas temperaturas e baixa disponibilidade hídrica, fatores que influenciam diretamente a morfologia, anatomia e fisiologia das espécies vegetais. No Brasil, especialmente no Espírito Santo, essas formações apresentam grande diversidade florística, embora ainda sejam pouco estudadas. Este estudo analisou cinco espécies ocorrentes na Pedra dos Soares, em Ponto Belo – ES (*Anthurium coriaceum*, *Cyrtopodium* sp., *Goeppertia makoyana*, *Mandevilla grazielae* e *Philodendron edmundoi*), com o objetivo de comparar caracteres morfoanatômicos e fisiológicos em função da incidência solar e da temperatura. Foram avaliadas temperatura foliar e do solo, intensidade luminosa, biometria e anatomia foliar, além da concentração de pigmentos fotossintéticos. *Mandevilla grazielae* apresentou maior temperatura foliar (40,1°C) e maior incidência luminosa (100,7 klux), indicando adaptações como cutícula espessa e elevada densidade estomática. *Anthurium coriaceum* registrou menores valores, evidenciando características de ambientes sombreados. Diferenças estruturais, como a presença de pulvino em *A. coriaceum* e *G. makoyana*, sugerem mecanismos de regulação da exposição solar. Variações na organização do mesófilo e nos teores de clorofilas e carotenoides demonstram estratégias fisiológicas distintas. Conclui-se que a plasticidade morfoanatômica é fundamental para a sobrevivência nessas condições adversas.

Palavras-chave: Luminosidade. Adaptações. Morfoanatomia.

¹Discente do curso de Bacharelado em Ciências Biológicas CEUNES/UFES - ES.

²Docente de Ciências/Biologia, EEEFM de Mucurici/ES.

³Docente do curso Agronomia na Faculdade UNITAU/SP.

⁴Docente do Departamento de Ciências Agrárias, CEUNES/UFES - ES.

ABSTRACT: Rock outcrops are characterized by extreme environmental conditions, such as high solar radiation, elevated temperatures, and low water availability, which directly influence the morphology, anatomy, and physiology of plant species. In Brazil, particularly in the state of Espírito Santo, these formations harbor high floristic diversity, although they remain poorly studied. This study analyzed five species occurring at Pedra dos Soares, in Ponto Belo, ES (*Anthurium coriaceum*, *Cyrtopodium* sp., *Goeppertia makoyana*, *Mandevilla grazielae*, and *Philodendron edmundoi*), aiming to compare their morphoanatomical and physiological traits in relation to solar incidence and temperature. Leaf and soil temperature, light intensity, leaf biometry, leaf anatomy, and photosynthetic pigment concentrations were evaluated. *Mandevilla grazielae* exhibited the highest leaf temperature (40.1°C) and light incidence (100.7 klux), indicating adaptations such as a thicker cuticle and higher stomatal density. *Anthurium coriaceum* showed lower temperature and light values, consistent with shade-adapted characteristics. Structural differences, including the presence of pulvini in *A. coriaceum* and *G. makoyana*, suggest mechanisms for regulating solar exposure. Variations in mesophyll organization and chlorophyll and carotenoid contents revealed distinct physiological strategies. These findings highlight the importance of morphoanatomical plasticity for plant survival under the heterogeneous and stressful conditions of rocky outcrops.

Keywords: Light incidence. Adaptations. Morpho-anatomy.

RESUMEN: Los afloramientos rocosos se caracterizan por condiciones ambientales extremas, como alta incidencia solar, temperaturas elevadas y baja disponibilidad hídrica, factores que influyen directamente en la morfología, anatomía y fisiología de las especies vegetales. En Brasil, especialmente en el estado de Espírito Santo, estas formaciones presentan una gran diversidad florística, aunque aún son poco estudiadas. Este estudio analizó cinco especies presentes en Pedra dos Soares, en Ponto Belo – ES (*Anthurium coriaceum*, *Cyrtopodium* sp., *Goeppertia makoyana*, *Mandevilla grazielae* y *Philodendron edmundoi*), con el objetivo de comparar caracteres morfoanatómicos y fisiológicos en función de la incidencia solar y la temperatura. Se evaluaron la temperatura foliar y del suelo, la intensidad luminosa, la biometría y la anatomía foliar, además de la concentración de pigmentos fotosintéticos. *Mandevilla grazielae* presentó mayor temperatura foliar (40,1 °C) y mayor incidencia luminosa (100,7 klux), lo que indica adaptaciones como cutícula gruesa y elevada densidad estomática. *Anthurium coriaceum* registró valores menores, evidenciando características propias de ambientes sombreados. Las diferencias estructurales, como la presencia de pulvínulo en *A. coriaceum* y *G. makoyana*, sugieren mecanismos de regulación de la exposición solar. Variaciones en la organización del mesófilo y en los contenidos de clorofilas y carotenoides demuestran estrategias fisiológicas distintas. Se concluye que la plasticidad morfoanatómica es fundamental para la supervivencia en estas condiciones adversas.

Palabras clave: Luminosidad. Adaptaciones. Morfoanatomía.

INTRODUÇÃO

Os afloramentos rochosos são encontrados nos mais variados domínios climáticos, embora sejam mais abundantes em regiões tropicais ou subtropicais e ocorram especialmente em regiões de clima árido e semiárido (Correia *et al.*, 2021). Ainda segundo os autores, no Brasil,

ocorrem em ampla distribuição principalmente na porção leste do país, tanto no semiárido como no domínio Mata Atlântica.

Ao observar os dados da CNC Flora (Centro Nacional de Conservação) o bioma Mata Atlântica é formado atualmente por menos de 20% da sua cobertura original, englobando pelo menos 60% das espécies de fauna e flora brasileiras ameaçadas de extinção. A Mata Atlântica abriga mais de 20 mil espécies de plantas, das quais 50% são endêmicas (FELICIANO, 2018).

Além disso, a Mata Atlântica é considerada um dos biomas mais ameaçados do planeta por se encontrar em uma das regiões mais densamente povoadas do mundo (Dourado, 2021). Devido à sua riqueza biológica e de grandes níveis de ameaça, a Floresta Atlântica, ao lado de outras 33 regiões do planeta foi inserida como um dos hotspots mundiais, ou seja, uma área prioritária para a conservação (COVRE, 2018).

Esse bioma tem muitas áreas montanhosas, onde as florestas de maior altitude, chamadas de floresta alto-montana ou floresta nebulosa, recebem mais umidade. Acima dessas florestas, ou misturadas a elas, ocorrem os campos de altitude e/ou afloramentos rochosos, uma formação vegetacional de fisionomia campestre e subarbustiva, geralmente formada por gramíneas e arbustos, com elevado número de espécies exclusivas (DOURADO, 2021).

As formações vegetais que crescem sobre os diferentes tipos rochosos são bem peculiares e muitas espécies que ocorrem nessas áreas apresentam características que permitem sua sobrevivência. Desta forma, os afloramentos rochosos são frequentemente compostos de uma rica flora rupícola composta por espécies endêmicas e ameaçadas, raras e até por novas ocorrências ou por espécies novas para a ciência (CORREIA *et al.*, 2021).

A vegetação rupícola não é uma extensão clara da Mata Atlântica, mas sim uma fisionomia que se alternou com ela durante as variações climáticas do Pleistoceno. Ela possui um elevado grau de endemismo, pois se trata de enclaves inseridos na Mata Atlântica e não de um ecossistema contínuo. Esses enclaves podem abrigar relictos vegetacionais, que anteriormente ocupavam áreas mais amplas, mas se deslocaram e fragmentaram devido às mudanças climáticas (ESGARIO *et al.*, 2009).

Afloramentos rochosos, ao formarem ambientes isolados, propiciam o surgimento de ilhas de vegetação de grande riqueza florística. Tais ilhas, possivelmente migraram em um passado remoto e se fragmentaram, mantendo-se isoladas devido a processos paleoclimáticos (Mauad, 2010). Esses fragmentos, identificados como relictos vegetacionais, representam áreas

onde uma vegetação específica existiu em maior extensão no passado, mas foi restrita ao longo do tempo pelas transformações climáticas e ecológicas (ESGARIO *et al.*, 2009).

Além disso, os afloramentos rochosos apresentam severas características ambientais, tais como solos rasos (Horizonte A sobre rocha), altas insolações, oscilação de temperatura entre o dia e a noite, baixa retenção de água e nutrientes, condições hostis para fixação de sementes, propágulos ou raízes de plantas adultas, além de exposição aos ventos, luminosidade e ao calor (Da Silva, 2021). Na natureza, a luz pode induzir muitas mudanças fenotípicas nas características das folhas que contribuem para o aumento da eficiência do uso da luz, há uma variedade de tamanhos e formas de folhas, até mesmo dentro da mesma espécie (NASCIMENTO, 2024).

Em consequência das condições ambientais a que estão submetidos, 80% da flora em afloramentos rochosos apresenta síndrome de dispersão abiótica, o que facilita a troca de diásporos entre áreas próximas e aumenta a similaridade florística (Lucena, 2020). Ainda assim, essas formações rochosas oferecem diversos microhabitats, como fendas, depressões e ilhas de solo, em uma variação microclimática separada, muitas vezes, por centímetros (SILVA, 2016).

No Brasil, comunidades vegetais em afloramentos rochosos, que incluem a morfologia geológica do “Pão de Açúcar”, ainda são funcionalmente negligenciadas. Infelizmente, quase nada se sabe sobre as estratégias morfológicas e fisiológicas das espécies de afloramentos rochosos, e como essas estratégias estão conectadas a fatores ambientais (De Paula *et al.*, 2019). O estado do Espírito Santo (ES) se destaca por apresentar concentrações destas “ilhas”, cuja diversidade ainda é pouco explorada (PENA *et al.*, 2019).

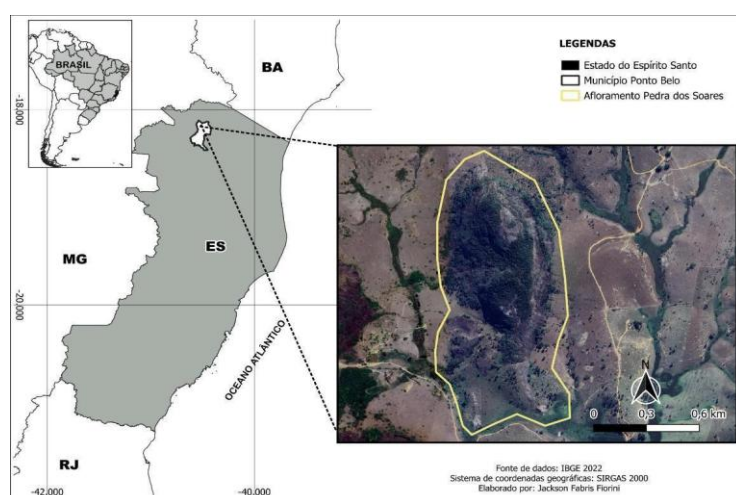
Pinto Junior (2017) destaca que os afloramentos rochosos apresentam grande variação em fatores edáficos e microclimáticos, resultando em altas exigências ecofisiológicas para suas plantas colonizadoras. Isso ocasiona diversidade beta da flora desses habitats. Assim, os afloramentos rochosos são modelos promissores para estudos comparativos sobre adaptação ecológica, embora as pesquisas sobre a ecofisiologia de sua vegetação ainda sejam iniciais. Não obstante, a caracterização anatômica das plantas tornou-se essencial para a taxonomia, auxiliando na compreensão das relações filogenéticas e da influência dos fatores ambientais em sua distribuição e funcionamento. Estudos anatômicos e ecofisiológicos revelam estratégias de sobrevivência das espécies e são fundamentais para a conservação da biodiversidade, ampliando o conhecimento sobre os mecanismos adaptativos das plantas frente às mudanças ambientais (SILVA, 2021).

O trabalho teve como objetivo comparar os caracteres morfoanatômicos e fisiológicos de cinco espécies vegetais ocorrentes na Pedra dos Soares, Ponto Belo - ES, em virtude da incidência solar e temperatura, visando verificar se os caracteres anatômicos das folhas possuem características em comuns e se estes estão correlacionados com os micros habitats ocorrentes no afloramento rochoso.

MÉTODOS

Como área de estudo, foi selecionada a Pedra dos Soares, localizada em Ponto Belo, Espírito Santo (Fig. 1), apresenta um desnível de aproximadamente 200 metros na face leste e 190 metros na face oeste, (Spedmo, [s.d.]) e essa formação rochosa pode atingir até 400 metros de altura.

Figura 1. Localização da Pedra dos Soares em Ponto Belo no Espírito Santo, Brasil.



Fonte: Jackson Fabris Fiorini (2025).

Por se tratar de um afloramento rochoso, situado em pasto aberto, oferece oportunidades para atividades de ecoturismo e estudos ambientais, uma vez que existe facilidade de acesso (Fig. 2). Contudo, ainda não há informações detalhadas sobre a geologia dessa formação.

O município de Ponto Belo, ES, possui clima tropical com estações bem definidas: período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro). A precipitação média anual é de 946,3 mm. As temperaturas variam ao longo do ano, com mínimas médias de 22°C e máximas de 32°C no período chuvoso, e mínimas de 18°C e máximas de 28°C no período seco (Incaper, 2020).

Figura 2. Visão frontal da Pedra dos Soares no Espírito Santo.



Fonte. Os autores.

Foram estudadas espécies da família Araceae, Orchidaceae, Marantaceae, Apocynaceae e Marantaceae de herbáceo a arbustivo, indicadas na tabela 1 e ilustradas da figura 3. De cada espécie foram coletados cinco indivíduos e de cada indivíduo, cinco folhas foram selecionadas. Não ocorreu depósito de exsicatas em herbário, uma vez que o material botânico não se encontrava no estágio reprodutivo, com exceção de *Mandevilla grazielae* que foi enviada ao Herbário SAMES para depósito. A identificação das espécies foi realizada com base no guia ilustrado: Principais espécies vegetais da Pedra dos Soares/Ponto Belo - ES, de autoria de Paixão e Aoyama (2024).

6

Tabela 1. Famílias, hábitos e substratos das espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo.

Família	Espécie	Hábito	Substrato
Araceae	<i>Anthurium coriaceum</i> (Graham) G. Don	Herbácea	Rupícola
Orchidaceae	<i>Cyrtopodium</i> sp.	Herbácea	Rupícola, terrícola
Marantaceae	<i>Goeppertia makoyana</i> (E. Morren) Borchs. & S. Suárez	Arbustiva	Rupícola
Apocynaceae	<i>Mandevilla grazielae</i> M. F. Sales et al.	Arbustiva	Rupícola
Marantaceae	<i>Philodendron edmundoi</i> G. M. Barroso	Herbácea	Rupícola, hemiepífita

Fonte: Os autores.

Figura 3. Espécies estudadas no ambiente que foram coletadas. A: *Anthurium coriaceum*; B: *Cyrtopodium* sp.; C: *Goeppertia makoyana*; D: *Mandevilla grazielae* e E: *Philodendron edmundoi*.



Fonte: Os autores.

Durante a coleta, que aconteceu em setembro de 2024, foram realizadas medições de temperatura e luminosidade de cada espécie e sua respectiva área. Os dados de temperatura foram obtidos por meio de um termômetro infravermelho (modelo T600A), avaliando a temperatura foliar e a temperatura do solo. Os dados de luminosidade foram obtidos por meio das medições de um luxímetro digital (modelo Li-250A Light Meter, Li-cor).

Foram analisados caracteres morfológicos foliares, incluindo composição, filotaxia, tamanho, cor, consistência, contorno, ápice, base, margem, venação e superfície da lâmina foliar. Quanto ao pecíolo, foram observados aspectos como aparência geral, inserção na lâmina, tamanho e características da superfície (Vidal e Vidal, 2000).

Foram realizadas também a medição da largura e comprimento do limbo e comprimento e diâmetro do pecíolo das espécies *M. graziellae* e *P. edmundoi*. Entretanto, para *A. coriaceum* e *G. makoyana*, além dessas medições, também foram verificados o comprimento e o diâmetro do pulvino.

Para *Cyrtopodium* sp., foram mensurados o comprimento e a largura do limbo e o comprimento e diâmetro da bainha. Todos esses procedimentos foram executados com auxílio de uma fita métrica (em cm) e paquímetro digital (em mm), porém todas as medidas foram padronizadas em centímetro.

As folhas utilizadas para as análises anatômicas foram fixadas em FAA (formaldeído, ácido acético: álcool etílico 50%, 2:1:18, v/v), seguindo o protocolo de Johansen (1940), por um período de 48 horas. Em seguida, foram transferidas para etanol 50%. Amostras da porção

mediana das folhas, incluindo pecíolo, bainha e limbo, foram seccionadas transversalmente manualmente, utilizando lâminas de aço inoxidável e isopor como suporte. Além disso, foram realizadas secções paradérmicas de ambas as faces foliares para verificar a presença de estômatos nas superfícies das folhas. As secções transversais foram clarificadas em hipoclorito de sódio 33% da solução comercial de 2%. Adicionalmente, as secções transversais foram coradas com Azul de Toluidina 0,05% e as secções paradérmicas com Safranina a 1%, conforme descrito por Luque et al. (1996), e montadas em lâminas temporárias. As lâminas foram analisadas utilizando um microscópio óptico.

Para a determinação da densidade estomática (mm^2) e do índice estomático (%), foram capturadas 50 imagens de cada espécie em análise, sendo duas imagens por indivíduo. As imagens foram obtidas com o auxílio de um microscópio Motic BA 210, acoplado à câmera fotográfica Moticom 3.0MP, com projeção de escalas micrométricas, utilizando a objetiva de 40x. O cálculo da densidade estomática (DE - número de estômatos por unidade de área) e do índice estomático (IE - percentual de estômatos em relação ao total de células epidérmicas por área) foi realizado por meio do software ANATI-QUANTI versão 2.0 para Windows (Aguiar et al., 2007). O índice estomático foi calculado utilizando a fórmula $(IE\%) = [NE / (NE + CE)] \times 100$, em que NE é o número de estômatos e CE é o número de células epidérmicas propriamente ditas.

Os parâmetros mensurados no limbo, especificamente nas seções da nervura central e da margem, foram a espessura total, a espessura do parênquima clorofiliano, da epiderme abaxial e adaxial, e da cutícula abaxial e adaxial. Em relação ao pecíolo e ao pulvino, foram quantificadas a espessura da epiderme e a espessura da cutícula. A quantificação desses parâmetros seguiu o mesmo padrão das imagens capturadas utilizadas para a determinação da densidade estomática e do índice estomático, com exceção da espessura total e do parênquima clorofiliano, que foram obtidas com a objetiva de 10x.

Para a determinação dos teores de pigmentos fotossintéticos e acessórios, foram utilizadas as regiões do ápice e da base das folhas, enquanto o terço mediano foi reservado para análises anatômicas. Os fragmentos dessas regiões foram seccionados e pesados, compondo duas amostras por indivíduo, totalizando 50 amostras por espécie e 250 amostras no total. Cada amostra, com peso mínimo de 0,3 g de folhas frescas, foi acondicionada em papel alumínio e congelada a -20°C por aproximadamente quatro meses. Para as análises, foram selecionadas três amostras de cada espécie, totalizando 15 amostras. A extração dos pigmentos foi realizada

conforme a técnica descrita por Lichtenthaler (1987), sob baixa luminosidade para evitar a degradação dos compostos. O material congelado foi macerado com acetona PA e filtrado com papel filtro (Fig. 5e). O filtrado resultante foi transferido para tubos de ensaio envolvidos em papel alumínio, e a solução foi completada com acetona PA. Os tubos foram mantidos em recipiente com gelo até o momento da leitura das amostras. A solução final foi transferida para cubetas de vidro, e as leituras espectrofotométricas foram realizadas sob penumbra nos seguintes comprimentos de onda: 710 nm (resíduos), 661,6 nm (clorofila a), 644,8 nm (clorofila b) e 470 nm (carotenoides) (Fig. 5f). Posteriormente, foram realizadas as seguintes equações apresentadas por Lichtenthaler (1987):

$$Cl\ a = [(11,24\ A\ 661,6) - (2,04\ A\ 644,8)]\ (VM^{-1})$$

$$Cl\ b = [(20,13\ A\ 644,8) - (4,19\ A\ 661,6)]\ (VM^{-1})$$

$$Cl\ a + b = (7,05\ A\ 661,6) + (18,09\ A\ 644,8)$$

$$Cl\ a\ b^{-1} = C\ a\ C\ b^{-1}$$

$$Carotenoides = [(1000\ A\ 470) - (1,90\ C\ a) - (63,14\ C\ b)]\ 214^{-1}$$

Onde:

A é a absorbância, V é o volume da amostra (mL), M é a massa fresca da amostra (mg), Cl a é o valor de clorofila a e Cl b é o valor de clorofila b. Os conteúdos de clorofilas e carotenoides dos tecidos foram expressos em mg de pigmentos por grama de massa fresca (mg/g MF).

RESULTADOS

1.1 Temperatura e luminosidade

A partir das medições de temperatura e luminosidade foram encontrados valores para cada espécie de acordo indicados na tabela 2.

Tabela 2. Valores de temperatura da folha, temperatura do solo e luminosidade (em klux) para espécies vegetais coletadas no afloramento rochoso “Pedra dos Soares” no Espírito Santo.

Espécies	Temperatura da folha	Temperatura do solo	Luminosidade
<i>A. coriaceum</i>	22.2°C	22.6°C	45.47 klux
<i>Cyrtopodium</i> sp.	28.1°C	36.0°C	102.72 klux
<i>G. makoyana</i>	25.4°C	23.9°C	46,15 klux
<i>M. grazielae</i>	40.0°C	31.1°C	100.70 klux
<i>P. edmundoi</i>	25.2°C	26.1°C	54.02 klux

Fonte: Os autores.

1.2 Morfologia foliar

As principais características da morfologia foliar das espécies estudadas são mostradas na tabela 3 e ilustradas na figura 6. Em relação a divisão do limbo, apenas *M. graziellae* apresenta folhas compostas, as espécies restantes são simples. As folhas analisadas apresentam diferentes padrões de filotaxia, sendo que *M. graziellae* possui filotaxia oposta cruzada, enquanto *G. makoyana* apresenta filotaxia espiralada, com folhas solitárias e inserção basal.

A lâmina foliar varia em forma e consistência entre as espécies. *A. coriaceum* *Cyrtopodium* sp. apresentam lâminas lanceoladas, enquanto as outras espécies exibem lâminas elípticas a oblongas, com superfície plana. Em relação a textura, *M. graziellae* é herbácea, *P. edmundoi* é coriácea, enquanto as outras espécies são membranáceas.

Em relação as margens das folhas, *G. makoyana* apresenta bordas onduladas, enquanto as outras espécies estudadas apresentam margens predominantemente lisas.

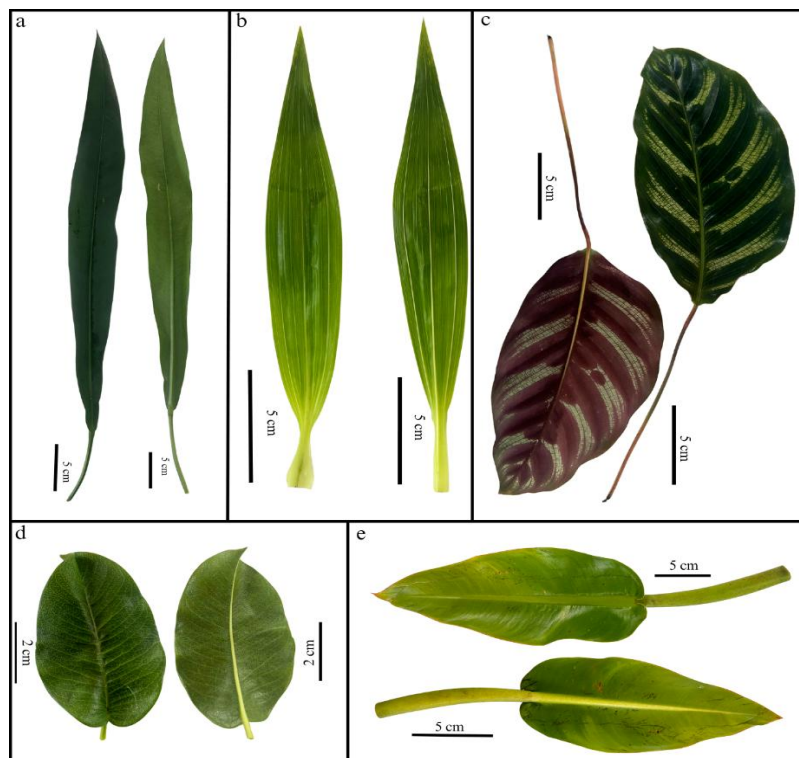
O ápice das folhas varia entre as espécies, podendo ser mucronado, como em *G. makoyana* e *M. graziellae*, ou acuminado, como em *A. coriaceum* e *Cyrtopodium* sp. *P. edmundoi* exibe ápice agudo. Por outro lado, a base da lâmina foliar também apresenta variações. *A. coriaceum* e *Cyrtopodium* sp. possuem base atenuada. Em *G. makoyana* e *P. edmundoi*, a base é obtusa, enquanto em *M. graziellae* possui base cordada.

A superfície foliar é glabra na maioria das espécies, como *A. coriaceum*, *Cyrtopodium* sp. e *G. makoyana*. Em contrapartida, *M. graziellae* e *P. edmundoi* apresentam o limbo com superfície lisa, sem acidentes.

A nervação das folhas varia entre as espécies. *Cyrtopodium* sp. possui folhas paralelinérveas, enquanto *A. coriaceum* apresenta nervuras primárias obtusas na face abaxial e adaxial e nervura coletora ao longo das margens. *P. edmundoi* possui nervura central convexa na face superior e proeminente na inferior, podendo ser concolor. *M. graziellae* e *G. makoyana* possuem folhas peninérveas.

Os pecíolos também apresentam diferenças estruturais. *A. coriaceum* tem pecíolo cilíndrico, com superfície lisa e coloração verde-escuro, tornando-se arroxeados no ápice. Em *P. edmundoi*, o pecíolo é esverdeado e opaco. Além disso, sua textura é esponjosa. *M. graziellae* apresenta folhas curto-pecioladas, enquanto *G. makoyana* possui pecíolos bem desenvolvidos. *A. coriaceum* e *G. makoyana* apresentam *pulvino*. *Cyrtopodium* sp. possui folhas invaginantes, com bainha que envolve o caule em grande extensão.

Figura 6. Folhas das cinco espécies coletadas no afloramento rochoso “Pedra dos Soares” no Espírito Santo. A: *Anthurium coriaceum*; B: *Cyrtopodium* sp.; C: *Goeppertia makoyana*; D: *Mandevilla grazielae* e E: *Philodendron edmundoi*. Escala em centímetros.



Fonte: Os autores.

Tabela 3. Características foliares de espécies coletadas no afloramento rochoso “Pedra dos Soares” no Espírito Santo, incluindo *Anthurium coriaceum*, *Cyrtopodium* sp., *Goeppertia makoyana* e *Mandevilla grazielae* e *Philodendron edmundoi*.

Características	<i>A. coriaceum</i>	<i>Cyrtopodium</i> sp.	<i>G. makoyana</i>	<i>M. grazielae</i>	<i>P. edmundoi</i>
Nomenclatura foliar	Peciolada	Invaginantes	Pulvino	Peciolada	Peciolada
Nervação	Uninérveas	Paralelinérveas	Peninérvea	Peninérvea	Uninérveas
Consistência	Membranácea	Membranácea	Membranácea	Herbácea	Coriácea
Superfície	Glabra	Glabra	Lisa	Glabra	Lisa
Forma	Lanceolada	Lanceolada	Elíptica	Elíptica	Elíptica
Bordo	Liso	Liso	Ondulado	Liso	Liso
Ápice	Acuminado	Acuminado	Mucronado	Mucronado	Agudo
Base	Atenuada	Atenuada	Obtusa	Cordada	Obtuso
Divisão do limbo	Simples	Simples	Simples	Composta	Simples

Fonte: Os autores.

Em relação aos resultados de biometria foliar, a espécie *Cyrtopodium* sp. não apresenta pecíolo e sim, bainha (Tab. 4). Essa espécie foi adicionada na mesma Tabela a fim de comparação dos valores obtidos. Os valores de comprimento e diâmetro do pulvino de *Goeppertia makoyana*, uma estrutura adicional ao pecíolo, constam na tabela 5.

Tabela 4. Valores médios e de desvio padrão (em cm) das medidas biométricas foliares de cinco espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo. *Espécie apresenta bainha.

Espécies	Comprimento do limbo (cm)		Largura do limbo (cm)		Comprimento do pecíolo (cm)		Diâmetro do pecíolo (cm)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
<i>A. coriaceum</i>	43,5	7,67	28,69	21,79	4,59	2,95	0,44	0,09
* <i>Cyrtopodium</i> sp.	24,25	13,13	4	1,1	3,5	1,16	2,75	1,14
<i>G. makoyana</i>	17	4,61	8	2,34	14,9	4,36	0,62	0,36
<i>M. graziellae</i>	4,27	0,38	2,34	0,21	0,71	0,18	0,12	0,02
<i>P. edmundoi</i>	21,49	3,51	10,85	14,02	11,05	2,61	1,24	0,16

Fonte: Os autores.

Tabela 5. Valores médios e de desvio padrão (em cm) do comprimento e diâmetro do pulvino de *Anthurium coriaceum* e *Goeppertia makoyana* coletados na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo.

Espécies	Comprimento do pulvino (cm)		Diâmetro do pulvino (cm)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
<i>A. coriaceum</i>	1,12	0,22	0,56	0,1
<i>G. makoyana</i>	1,36	0,52	0,28	0,07

Fonte: Os autores.

1.3 Anatomia foliar

Em geral, foram encontradas quatro espécies hipoestomáticas e uma espécie anfiestomática (Tab. 6 e Fig. 7). As células epidérmicas, nas faces abaxial e adaxial, podem ser isodiamétricas, alongadas e irregulares; e as paredes podem ser retas, curvas e sinuosas. Os estômatos são predominantemente do tipo diacítico em *A. coriaceum* e *M. graziellae* e *G. makoyana*, enquanto em *Cyrtopodium* sp. *G. makoyana* são anomocíticos. Já em *P. edmundoi* os estômatos são ciclicíticos. Os valores encontrados para o índice estomático (%) e a densidade estomática (mm²) (Tab. 7).

Tabela 6. Caracterização foliar em vista paradérmica de cinco espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo. (Aba=abaxial; Ada=adaxial; Hipo=hipoestomática; Anfi=anfiestomática).

Espécies	Presença de estômatos	Forma das células epidérmicas		Parede das células epidérmicas		Tipo estomático	
		Aba.	Ada.	Aba.	Ada.	Aba.	Ada.
<i>A. coriaceum</i>	Hipo	Isodiamétricas	Isodiamétricas	Curvas	Curvas	Diacítico	Ausente
<i>Cyrtopodium</i> sp.	Hipo	Isodiamétricas	Alongadas	Curvas	Retas	Anomocítico	Ausente
<i>G. makoyana</i>	Hipo	Irregulares	Irregulares	Sinuosas	Sinuosas	Anomocítico	Ausente
<i>M. grazielae</i>	Anfi	Isodiamétricas	Isodiamétricas	Curvas	Curvas	Diacítico	Diacítico
<i>P. edmundoi</i>	Hipo	Isodiamétricas	Isodiamétricas	Curvas	Curvas	Ciclocítico	Ausente

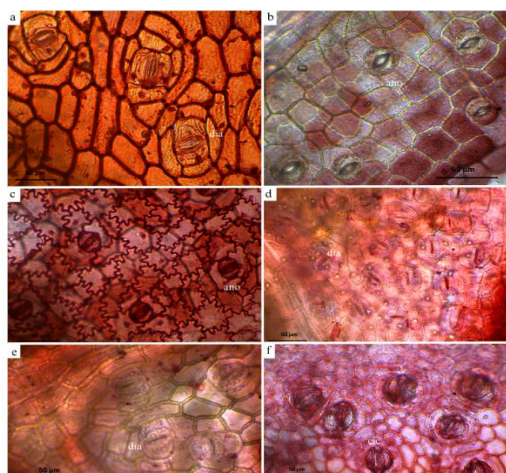
Fonte: Os autores.

Tabela 7. Índice estomático (%) e densidade estomática (mm²) de cinco espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo.

Espécies	Índice estomático (%)		Densidade Estomática (mm ²)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
<i>A. coriaceum</i>	9,09	2,1	27,49	8,96
<i>Cyrtopodium</i> sp.	8,94	2,45	73,31	20,72
<i>G. makoyana</i>	9,5	2,24	54,8	11,63
<i>M. grazielae</i> (abaxial)	16,82	4,05	155,78	39,92
<i>M. grazielae</i> (adaxial)	7,18	2,33	54,98	18,24
<i>P. edmundoi</i>	8,87	1,84	60,48	15,6

Fonte: Os autores.

Figura 7. Secções paradérmicas do limbo das cinco espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo. A: *A. coriaceum*; B: *Cyrtopodium* sp; C: *G. makoyana* D: *M. grazielae* (abaxial) E: *M. grazielae* (adaxial) e F: *P. edmundoi*. (Dia=diacíticos, Ano= anomocíticos, Cic= ciclocítico).



Fonte: Os autores.

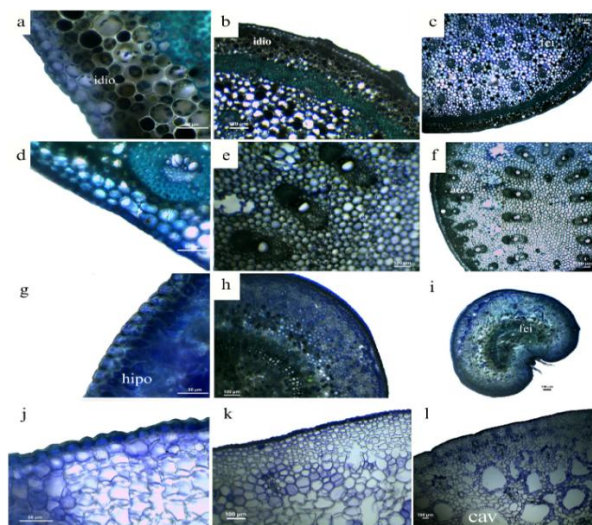
Todas as espécies apresentaram epiderme unisseriadas (Fig. 8a, d, g, j). No pecíolo de *P. edmundoi*, há grandes cavidades de ar delineadas por células parenquimáticas (Fig. 8l). Em *G. makoyana*, o pecíolo apresenta expansões laterais na hipoderme adaxial bisseriada (Fig. 8g). Em relação ao contorno, *A. coriaceum* exibe plano-convexo (Fig. 8c) e *M. graziellae* apresenta pecíolo côncavo na face adaxial e convexo na face abaxial (Fig. 8i), enquanto *G. makoyana* (Fig. 8f) e *P. edmundoi* (Fig. 8l) tem o contorno do seu pecíolo circular. Idioblastos portadores de drusas ou de substâncias fenólicas são frequentes no pecíolo de *A. coriaceum* (Fig. 8b). Apenas *M. graziellae* mostrou tricomas tectores, porém pouco presentes. Os feixes vasculares são dispersos em *A. coriaceum* (Fig. 8c) e *P. edmundoi* (Fig. 8l), caracterizados como grandes e pequenos, respectivamente. Em *G. makoyana* (Fig. 8h) e *M. graziellae* os feixes estão dispostos em arcos, sendo da última espécie acompanhado por feixes acessórios (Fig. 8f).

Tabela 8. Espessura da cutícula e da epiderme (μm) do pecíolo de quatro espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo.

Espécies	Espessura da cutícula (μm)		Espessura da epiderme (μm)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
<i>A. coriaceum</i>	9,75	3,2	38,01	5,31
<i>G. makoyana</i>	5,27	1,61	13,78	3,31
<i>M. graziellae</i>	12,1	2,35	37,75	5,92
<i>P. edmundoi</i>	9,93	2,88	27,17	5,43

Fonte: Os autores.

Figura 8. Secções transversais do pecíolo de cinco espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo. A, B, C: *A. coriaceum*; D, E, F: *G. makoyana* G, H, I: *M. graziellae* e J, K, L: *P. edmundoi*. (Idio= idioblastos, Hipo= hipoderme, Fei= feixes vasculares)



Fonte: Os autores.

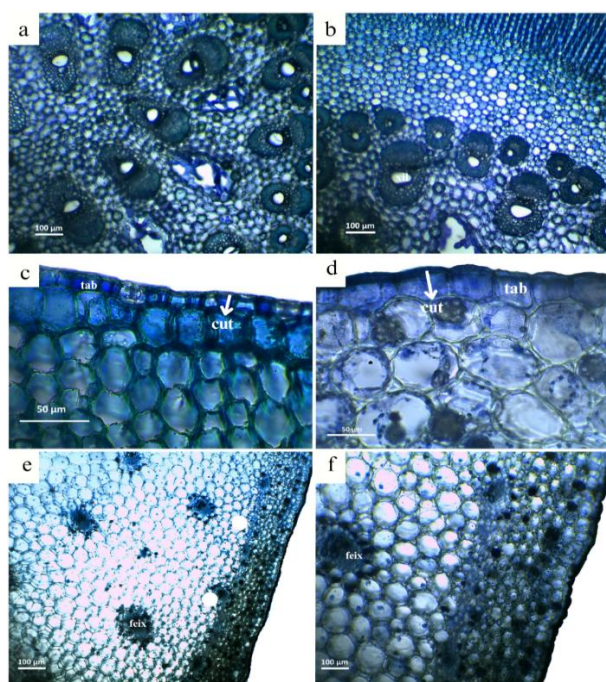
Os valores de espessura da cutícula e da epiderme dos pulvinos de *A. coriaceum* e *G. makoyana* estão indicados na tabela 9. O sistema vascular dessa estrutura se encontra reunido no centro, mas com vários feixes ao redor dispostos em forma cilíndrica (Fig. 9a, b, e, f). Ainda para as duas espécies, o parênquima apresenta paredes finas com espaços intercelulares. A epiderme é uniestratificada com células tabulares e acompanhada de uma fina cutícula (Fig. 9c, d).

Tabela 9. Espessura da cutícula e da epiderme (μm) dos pulvinos de *A. coriaceum* e *G. makoyana* coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo.

Espécies	Espessura da cutícula (μm)		Espessura da epiderme (μm)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
<i>A. coriaceum</i>	10,74	2,53	41,15	5,99
<i>G. makoyana</i>	5,18	1,46	16,56	5,27

Fonte: Os autores.

Figura 9. Secções transversais dos pulvinos de A, B, C: *A. coriaceum* e D, E, F: *G. makoyana* coletados na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo. (Cut= cutícula, Tab= células tabulares, Feix= feixes vasculares).



Fonte: Os autores.

Nas secções transversais da nervura central das espécies, foi observado epiderme uniestratificada, sendo esta característica comum a *A. coriaceum*, *P. edmundoi*, *M. graziellae*, *G. makoyana* (Fig. 10 a, e, g, i), enquanto *Cyrtopodium* sp. apresenta epiderme multisseriada (Fig. 10c). A cutícula é espessa em *A. coriaceum*, *M. graziellae* e *P. edmundoi*, ao passo que *Cyrtopodium* sp. e *G. makoyana* apresentam cutícula fina, conforme indicado na tabela 10. Em *A. coriaceum*

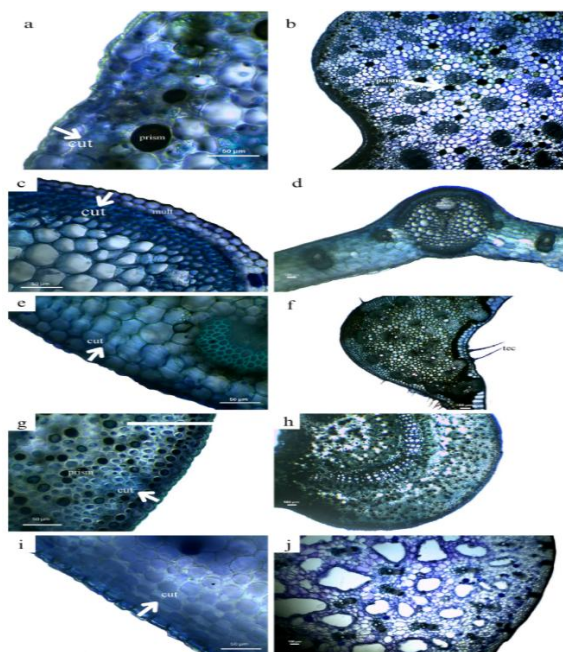
(Fig. 10a) e *M. graziellae* (Fig. 10g), foram detectados cristais prismáticos do tipo acicular, de coloração alaranjada brilhante, mas após a coloração com Azul de Toluidina as estruturas ficaram mais escuras. Além disso, foram detectados tricomas tectores na nervura central de *G. makoyana* (Fig. 10f). Em geral, a nervura central apresenta organização dos tecidos semelhante à do pecíolo.

Tabela 10. Espessura da cutícula e da epiderme (μm) da nervura central de cinco espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo.

Espécies	Espessura da cutícula (μm)		Espessura da epiderme (μm)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
<i>A. coriaceum</i>	10,87	3,18	42,13	8,88
<i>Cyrtopodium</i> sp.	5,75	1,25	27,44	5,25
<i>G. makoyana</i>	4,79	1,24	13,71	3,03
<i>M. graziellae</i>	12,33	2,43	28,12	3,44
<i>P. edmundoi</i>	8,66	2,3	26,19	4,25

Fonte: Os autores.

Figura 10. Secções transversais da nervura central de cinco espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo. A, B: *A. coriaceum*; C, D: *Cyrtopodium* sp.; E, F: *G. makoyana*; G, H: *M. graziellae* e I, J: *P. edmundoi*. (Cut = cutícula, Pris= cristais prismáticos do tipo acicular, Tec= tricomas tectores).



Fonte: Os autores.

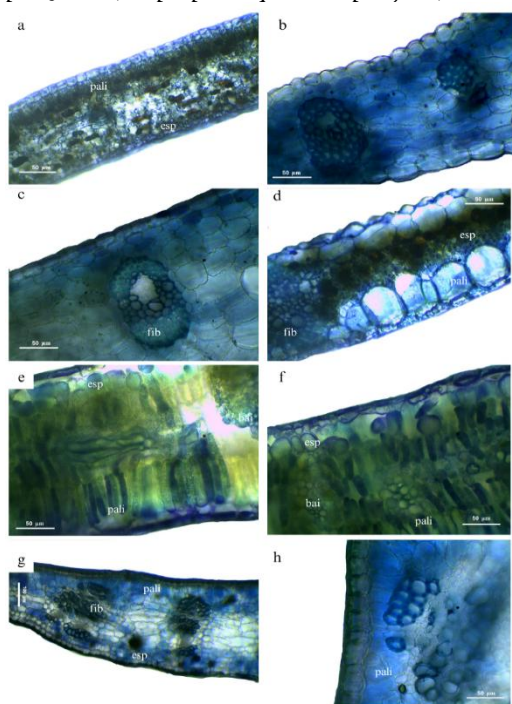
As espessuras da cutícula e da epiderme variam entre as espécies analisadas (Tab. 11). Em *A. coriaceum*, a epiderme adaxial e abaxial são as mais espessas (53,12 μm e 54,54 μm ,

respectivamente), enquanto *Cyrtopodium* sp. apresenta as menores espessuras epidérmicas (22,81 μm e 18,41 μm). Já a cutícula mais espessa foi observada em *P. edmundoi* (11,15 μm na face adaxial), enquanto *G. makoyana* apresenta os menores valores médios de cutícula (5,03 μm na face adaxial).

O mesofilo das espécies estudadas apresenta organização dorsiventral, com exceção de *Cyrtopodium* sp., que possui organização uniforme. Em *A. coriaceum*, *G. makoyana* e *M. graziellae*, o mesofilo é dorsiventral e heterogêneo, com parênquima paliádico e parênquima esponjoso (Fig. 11a, d, e, f), com espessuras variáveis (Tab. 12). *P. edmundoi*, também apresenta o mesofilo dorsiventral (Fig. 11g), composto por um parênquima paliádico de duas camadas de células curtas (Fig. 11h) e um parênquima esponjoso com cerca de oito camadas de células isodiamétricas.

O sistema vascular das folhas é composto por feixes vasculares colaterais, exceto em *A. coriaceum*. Em *Cyrtopodium* sp., *G. makoyana* e *P. edmundoi*, os feixes estão envolvidos por fibras esclerenquimáticas (Fig. 11c, d, g). *M. graziellae* apresenta feixes vasculares bicolaterais bem definidos, com cordões de floema associados ao feixe mediano e bainhas esclerenquimáticas envolvendo os feixes vasculares principais (Fig. 11e, f).

Figura 11. Secções transversais do limbo das de cinco espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo. A: *A. coriaceum*; B, C: *Cyrtopodium* sp.; D: *G. makoyana*; E, F: *M. graziellae* e G, H: *P. edmundoi*. (Pali= parênquima paliádico, Esp= parênquima esponjoso, Fib= fibras esclerenquimáticas, Bai=bainhas esclerenquimáticas).



Fonte: Os autores.

Tabela 11. Espessura da cutícula e da epiderme (μm) das faces adaxial e abaxial do limbo de cinco espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo.

Espécies	Espessura da cutícula ADA		Espessura da cutícula ABA		Espessura da epiderme ADA		Espessura da epiderme ABA	
	Med.	DP.	Med.	DP.	Med.	DP.	Med.	DP.
<i>A. coriaceum</i>	10,89	2,3	9,81	2,54	53,12	7,14	54,54	10
<i>Cyrtopodium sp.</i>	6,91	1,03	5,94	2,18	22,81	4,75	18,41	2,99
<i>G. makoyana</i>	5,03	3,83	6,76	2,12	14,92	10,11	23,27	17,56
<i>M. grazielae</i>	10,9	2,76	8,2	2,35	33,4	6,48	24,27	6,6
<i>P. edmundoi</i>	11,15	3,31	8,41	2,4	31,35	5,06	32,71	6,61

Fonte: Os autores.

Tabela 12. Espessura total e do parênquima clorofiliano (μm) do limbo de cinco espécies coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo.

Espécies	Espessura total (μm)		Espessura do parênquima clorofiliano (μm)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
<i>A. coriaceum</i>	496,76	58,96	379,16	56,41
<i>Cyrtopodium sp.</i>	175,01	27,85	137,83	27,36
<i>G. makoyana</i>	218,99	54,73	166,91	41,91
<i>M. grazielae</i>	325,95	32,62	255,37	21,5
<i>P. edmundoi</i>	415,28	37,07	355,18	45,59

Fonte: Os autores.

Na bainha do *Cyrtopodium sp.* foi observada uma epiderme unisseriada com cutícula fina nas faces adaxial e abaxial. O mesofilo é heterogêneo, com ausência de parênquima clorofiliano, composto por células parenquimáticas isodiamétricas e células grandes, arredondadas e de paredes delgadas, indicando a presença de aerênquima. Os feixes vasculares distribuídos no mesofilo são envoltos por bainha de fibras.

1.4 Extração de pigmentos fotossintéticos

A extração de pigmentos fotossintéticos revelou variações na concentração de clorofilas e carotenoides entre as espécies analisadas (Tab. 13). *P. edmundoi* apresentou a maior concentração de clorofila *a* (337,15 mg/g MF), enquanto *Cyrtopodium sp.* exibiu o menor valor (239,78 mg/g MF). A relação Cl *a*/Cl *b* variou entre 5,78 em *A. coriaceum* e 8,76 em *M. grazielae*, sugerindo diferenças na composição do aparato fotossintético dessas espécies. Quanto aos carotenoides, *G. makoyana* apresentou a maior concentração (291,59 mg/g MF), enquanto *M. grazielae* exibiu o menor valor (125,21 mg/g MF).

Tabela 13. Valores médios e de desvio padrão (em mg/g MF) da extração de pigmentos foliares de cinco espécies vegetais coletadas na “Pedra dos Soares” no Espírito Santo. (Méd. = média; DP = desvio padrão).

Espécies	Cl a		Cl b		Cl a + Cl b		Cl a/Cl b		Carotenoides	
	Méd.	DP	Méd.	DP	Méd.	DP	Méd.	DP	Méd.	DP
<i>A. coriaceum</i>	216,9	97,05	47,24	21,28	9,97	2,48	5,78	1,89	209,6	83,09
<i>Cyrtopodium</i> <i>sp.</i>	329,78	98,82	20,72	22,09	10,7	3,44	6,43	1,07	273,27	52,13
<i>G. makoyana</i>	259,89	57,22	40,06	4,14	9,54	0,94	6,49	0,79	291,59	49,82
<i>M. grazielae</i>	250,91	29,38	29,74	4,83	8,76	2,08	8,47	0,96	125,21	133,75
<i>P. edmundoi</i>	337,15	27,74	37,55	4,51	12,5	0,4	8,98	0,29	245,34	61,32

Fonte: Os autores.

DISCUSSÃO

As espécies *M. grazielae* e *Cyrtopodium* sp. apresentam as maiores temperaturas foliares (40.0°C e 28.1°C, respectivamente) e maiores intensidades luminosas (100.70 klux e 102.72 klux). Assim, é possível evidenciar que essas espécies podem apresentar adaptações morfológicas e anatômicas para enfrentar elevada exposição solar. Segundo Duarte (2020) e Cosmo e Galeriani (2017), essas adaptações podem incluir cutícula espessa para reduzir a perda de água e proteger contra radiação excessiva, aumento no número de estômatos para favorecer trocas gasosas mais rápidas, maior proporção de parênquima paliçádico em relação ao lacunoso, otimizando a fotossíntese e presença de tricomas para isolamento térmico do mesófilo. Por outro lado, *A. coriaceum*, apresenta menor temperatura foliar e intensidade luminosa, assim, as adaptações morfológicas e anatômicas podem estar associadas aos caracteres de plantas de ambientes sombreados.

As temperaturas de solo não apresentam grandes divergências entre as espécies (entre 22.6°C e 36.0°C), no entanto os resultados obtidos para *Cyrtopodium* sp. e *M. grazielae* indicam superfícies expostas à radiação solar intensa. *M. grazielae* tem a maior discrepância entre temperatura foliar e do solo (40.0°C na folha e 31.1°C no solo), indicando maior absorção de calor. Já *A. coriaceum* tem uma diferença pequena entre folha e solo (22.2°C na folha e 22.6°C no solo), sugerindo que sua temperatura foliar é menos influenciada pela radiação direta.

A variação nas temperaturas foliares e do solo entre as espécies indica a presença de micro habitats distintos no afloramento rochoso, com variação microclimática entre eles. Dessa forma, espécies com diferentes necessidades ecológicas ocorrem em micro habitats diferentes

causados pelas variações topográficas, dentro da mesma área de estudo, indicando também uma grande biodiversidade (SILVA, 2016).

Nesse contexto, as adaptações morfológicas foliares desempenham papel fundamental na sobrevivência das espécies sob tais condições ambientais. Além do tamanho das folhas, a presença de nervuras lobadas contribui para o suporte mecânico com economia de materiais, garantindo sustentação ao tecido fotossintetizante exposto à luz (Cutler *et al.*, 2011). *Mandevilla grazielae*, por exemplo, apresentou as menores médias de tamanho foliar, característica associada a plantas xeromórficas, que tendem a ser pequenas e compactas. Esse padrão reduz a transpiração, uma vez que folhas menores possuem menor área de exposição ao calor e, conseqüentemente, menor superfície disponível para perda de água, além de absorverem menos calor, contribuindo para a regulação da temperatura foliar (CASTRO *et al.*, 2009).

O pulvino presente em *A. coriaceum* e *G. makoyana* pode indicar a capacidade de movimentos foliares para ajustar a exposição à luz. A presença de um pulvino alargado com células parenquimáticas que, quando túrgidas, mantém as folhas eretas (Cutler *et al.*, 2011), como em *A. coriaceum* que apresenta uma média do diâmetro maior em relação ao seu pecíolo. De acordo com Cutler *et al.* (2011), quando a pressão interna nessas células diminui as folhas apresentam área superficial reduzida para o sol.

20

Em vista frontal, apenas *M. grazielae* apresentou folhas do tipo anfiestomática, representando maior taxa de fotossíntese pois permitem trocas gasosas mais eficientes quando comparadas às folhas hipoestomáticas. A disposição dos estômatos nas superfícies adaxial, abaxial ou em ambas tem sido considerada como um bom caráter taxonômico pela sua constância, indicando uma determinação genética pouco influenciada pelo ambiente (Smiljanic, 2005). Ademais, a disposição dos estômatos apenas na face abaxial da folha está associada com a ocorrência da camada subepidérmica bem desenvolvida na face adaxial e a presença do mesofilo radiado, característico da anatomia Kranz (Boeger e Gluzezak, 2006).

Os valores obtidos para índice estomático e densidade estomática estão associados ao aumento da incidência luminosa e representam maior controle sobre a transpiração, possibilitando reduzir a perda de água com abertura e fechamento dos estômatos, em condições mais favoráveis (ESPINDOLA *et al.*, 2009).

Maior densidade de estômatos e tricomas por unidade de área parece representar estratégia adaptativa para a conservação de água em folhas que se desenvolvem em condições mais xéricas. O aumento no número de estômatos possibilita troca gasosa mais eficiente

durante os curtos períodos do dia em que a umidade relativa do ar é mais alta e a taxa de transpiração é reduzida (Santos *et al.*, 2022). Apesar de ser uma característica esperada, apenas *G. makoyana* exibiu tricomas, sendo esses pouco frequentes.

As maiores médias da espessura da cutícula foram observadas em *A. coriaceum*, *M. graziellae* e *P. edmundoi*, evidenciando uma barreira hidrofóbica para prevenção da folha contra a perda de vapor de água e aumenta a reflexão da luz incidente para minimizar o excesso de irradiação solar sobre os tecidos subjacentes (Santos *et al.*, 2022). Entretanto, os valores médios não estão diretamente associados ao aumento linear da temperatura e incidência solar das espécies.

Ainda nessa relação não direta da temperatura e incidência solar, a espessura total do limbo também se encaixa nessa situação. Segundo Castro *et al.* (2009), as folhas expostas a alta luminosidade ("folhas de sol") apresentam maior espessura em comparação às folhas desenvolvidas em condições de baixa luminosidade ("folhas de sombra"). Esse aumento na espessura deve-se, principalmente, à presença de maior número de camadas de células paliçádicas, que também tendem a ser mais alongadas. Em contraste, as folhas de sombra apresentam redução na espessura total, resultante, sobretudo, da diminuição das camadas dos tecidos parenquimáticos e do menor alongamento das células paliçádicas.

21

Adicionalmente, de acordo com Castro *et al.*, (2009), o aumento da intensidade luminosa favorece o espessamento foliar, especialmente pelo alongamento ou adição de células do parênquima paliçádico. Essa característica está relacionada à redução da resistência do mesófilo à difusão de dióxido de carbono e à regulação de fatores que potencialmente limitam a fotossíntese, como a atividade enzimática, o transporte de elétrons e a condutância estomática.

No que se refere aos pigmentos foliares, sua concentração e composição estão diretamente relacionadas às condições de luminosidade do ambiente. Segundo Birehals e Fermino Junior (2020), variações na disponibilidade de radiação influenciam a concentração de pigmentos fotossintéticos, alterando a quantidade de clorofila total, a razão entre clorofila *a* e clorofila *b*, além dos teores de carotenoides. Além disso, folhas desenvolvidas em ambientes sombreados tendem a apresentar maior concentração de clorofila por grama de massa seca quando comparadas àquelas expostas diretamente à luz solar, estratégia que favorece maior captação de radiação fotossinteticamente ativa.

No presente estudo, foi possível entender que as variações nas concentrações de clorofila *a* e *b* e nos carotenoides, entre as espécies analisadas, indicam diferentes estratégias de adaptação ao ambiente de afloramento rochoso.

Em relação à clorofila *a*, *P. edmundoi* apresentou a maior concentração ($337,15 \pm 27,74$), seguido por *Cyrtopodium* sp. ($329,78 \pm 98,82$), enquanto *A. coriaceum* exibiu o menor valor ($216,90 \pm 97,05$). Já a clorofila *b* de maior concentração foi em *A. coriaceum* ($47,24 \pm 21,28$) e *P. edmundoi* ($37,55 \pm 4,51$) e tendo menor concentração em *Cyrtopodium* sp. ($20,72 \pm 22,09$). A razão $Cl\ a/Cl\ b$, que de maneira geral diminui com a redução da intensidade luminosa (Souza et al., 2011), foi mais alta em *P. edmundoi* ($8,98 \pm 0,29$) com maior eficiência fotossintética em condições de alta luminosidade. Por outro lado, *A. coriaceum* obteve a menor razão $Cl\ a/Cl\ b$ ($5,78 \pm 1,89$). Assim, esse resultado segue a informação de De Souza et al. (2011), visto que *A. coriaceum* apresenta o menor valor de intensidade luminosa.

De acordo com Kerbaui et al. (2004), os carotenoides têm atuação primordial na fotoproteção do aparato fotossintético, auxiliando na dissipação de energia em condições de alta radiação. Ainda segundo os autores, folhas expostas ao sol apresentam proporção maior de carotenoides em relação à clorofila quando comparadas às folhas sombreadas. No entanto, os resultados deste estudo não corroboram essa afirmação. A espécie *G. makoyana*, que apresentou o maior teor de carotenoides ($291,59 \pm 49,82$), está associada a menor temperatura em comparação com *M. graziellae*, que, apesar de estar exposta a maior incidência solar e temperatura, teve os menores teores de carotenoides ($125,21 \pm 133,75$).

Desse modo, os resultados evidenciam diferentes estratégias fisiológicas entre as espécies analisadas, refletindo a diversidade de mecanismos de adaptação ao ambiente extremo do afloramento rochoso. A presença de variações nos teores de clorofila e carotenoides reforça a plasticidade fisiológica dessas espécies, o que a permite sobreviver em condições de elevada radiação solar e temperatura.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam a influência das condições microclimáticas do afloramento rochoso sobre as características morfológicas e anatômicas das espécies analisadas. A variação na temperatura foliar e na incidência luminosa indicou a existência de diferentes microhabitats dentro da mesma área, refletindo estratégias adaptativas distintas. *M. graziellae*, exposta à maior temperatura foliar e maior intensidade luminosa,

apresentou possíveis adaptações estruturais, como cutícula espessa, maior densidade estomática e folhas menores, características típicas de plantas xeromórficas. Por outro lado, *A. coriaceum*, com menores temperaturas foliares e intensidade luminosa, pode apresentar traços associados a ambientes sombreados.

O pulvino observado em *A. coriaceum* e *G. makoyana* sugere a capacidade de ajuste na captação luminosa, enquanto a presença de folhas anfiestomáticas em *M. grazielae* indica uma adaptação eficiente para maximizar a fotossíntese. Além disso, a maior espessura da cutícula em algumas espécies reforça seu papel na redução da perda de água e na proteção contra radiação excessiva. Assim, as diferenças estruturais entre as espécies analisadas refletem suas estratégias adaptativas à heterogeneidade ambiental do afloramento rochoso, evidenciando a importância da plasticidade morfoanatômica para a sobrevivência em condições extremas.

Em relação a extração de pigmentos, com base nos resultados obtidos, conclui-se que as espécies analisadas apresentam distintas estratégias fisiológicas para enfrentar as condições adversas do afloramento rochoso. As variações nas concentrações de clorofila e carotenoides indicam mudanças na captação e utilização da radiação luminosa, indicando a plasticidade fisiológica dessas plantas. Além disso, a discrepância entre os teores de carotenoides e a exposição à luz sugere que outros fatores, como temperatura e espécies específicas, também influenciam a produção desses pigmentos. Dessa forma, os dados reforçam a complexidade das respostas adaptativas das espécies vegetais frente às condições ambientais extremas.

23

Com base nos resultados obtidos, é primordial incentivar futuras pesquisas, tanto nas espécies analisadas quanto no ambiente de afloramento rochoso, com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre as estratégias adaptativas dessas plantas.

Além disso, as informações geradas por este trabalho podem servir de subsídio para o desenvolvimento de estratégias de cultivo e manejo sustentável das espécies estudadas, como forma de garantir a sua preservação.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, T. V.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; AZEVEDO, A. A.; FERREIRA, R. S. Anati Quanti: software de análises quantitativas para estudos em anatomia vegetal. *Planta Daninha*, v. 25, p. 649 - 659, 2007.

BIREAHLS, A.; FERMINO JUNIOR, P. C. P. Plasticidade fenotípica em folhas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage sob diferentes níveis de sombreamento. *Revista do Instituto Florestal, São Paulo*, v. 32, n. 2, p. 143-157, dez. 2020. DOI:

10.24278/2178-5031.202032203. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.24278/2178-5031.202032203>. Acesso em: 28 mar. 2025.

BOEGER, M. R. T.; GLUZEZAK, R. M. Adaptações estruturais de sete espécies de plantas para as condições ambientais da área de dunas de Santa Catarina, Brasil. *Iheringia, Série Botânica*, v. 61, n. 1/2, p. 73 - 82, 2006.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

COSMO, B. M. N.; GALERIANI, T. M. Características anatômicas e morfológicas da estrutura foliar. *Semana Acadêmica*, v. 1, 2017.

CORREIA, J. S.; LYRA-LEMOS, R. P.; RIBEIRO, R. D. T. M.; LOIOLA, M. I. B. Diversidade Florística dos Afloramentos Rochosos da Reserva Biológica de Pedra Talhada, Quebrangulo, Alagoas. 2021.

CUTLER, D. F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D. W. Anatomia vegetal - uma abordagem aplicada. Porto Alegre: Artmed, 2011. 304 p.

DA SILVA, F. M. T.; BARBOSA, W. M.; JÚNIOR, W. G. F. Caracterização morfoanatômica da folha e raiz de *Brassavola tuberculata* Hook (Orchidaceae) em afloramento rochoso. *Revista Agrogeoambiental*, v. 13, n. 4, 2021.

DE PAULA, L. F. A.; KOLB, R. M.; POREMBSKI, S.; SILVEIRA, F. A.; ROSSATTO, D. R. Rocks and leaves: can anatomical leaf traits reflect environmental heterogeneity in inselberg vegetation? *Flora*, v. 250, p. 91 - 98, 2019.

24

DOURADO, D. M. Similaridade estrutural versus diferentes composições do secretado em coléteres de espécies congenericas: o caso *Prepusa* spp. (Gentianaceae). 2021. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2017.

DUARTE, J. Biologia. *Sophos*, 26 maio 2020. Disponível em: <http://sophos.com.br/site/docs/programacao-pedagogica-especial/ensino-medio/26-maio-2020/biologia-jose-duarte.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2025.

ESGARIO, C. P.; FONTANA, A. P.; SILVA, A. G. A flora vascular sobre rocha no Alto Misterioso, uma área prioritária para a conservação da Mata Atlântica no Espírito Santo, Sudeste do Brasil. *Natureza Online*, v. 7, n. 2, p. 80 - 91, 2009.

ESPÍNDOLA JUNIOR, A.; BOEGER, M. R. T.; MACCARI JÚNIOR, A., REISSMANN, C. B.; RICKLI, F. L. Variação na estrutura foliar de *Mikania glomerata* Spreng. (Asteraceae) sob diferentes condições de luminosidade. *Brazilian Journal of Botany*, v. 32, p. 749 - 758, 2009.

FELICIANO, D. C. Diversidade e estrutura genética de populações de *Portulaca hatschbachii* D. Legrand: uma espécie endêmica dos afloramentos rochosos de basalto do estado do Paraná. 2018. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER). *Ponto Belo: diagnóstico do município*. 2020. Disponível em: https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Ponto_Belo.pdf. Acesso em: 22 jan. 2025.

JOHANSEN, D. A. *Plant microtechnique*. New York: McGraw-Hill Book, 1940. 523 p.

KERBAUY, G. B. *Fisiologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 452 p.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: COLOWICK, S. P.; KAPLAN, N. O. (Eds.). *Methods in Enzymology*. San Diego: Academic Press, 1987. v. 148, p. 350 - 382.

LUCENA, D. D. S.; SOUZA, B. C.; CARVALHO, E. C. D.; ARAÚJO, F. S.; ALVES, M. Plantas trepadeiras em afloramentos rochosos no nordeste do Brasil: padrões de riqueza, similaridade florística e síndromes de dispersão. *Rodriguésia*, v. 71, e02402018, 2020.

LUQUE, R.; SOUZA, C. H.; KRAUS, E. J. Métodos de coloração de Roeser (1972) modificado e Kropp (1972) visando a substituição do azul da astra pelo azul de alciano 8GS ou 8GX. *Acta Botanica Brasilica*, v. 10, n. 2, p. 199-212, 1996.

MAUAD, L. P. Levantamento florístico de um remanescente florestal de Mata Atlântica no maciço do Itaoca, Campos dos Goytacazes, RJ. 83 f. 2010. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2010.

NASCIMENTO, K. C.; DE SOUZA, L. A.; BOEGER, M. R. T.; ROMAGNOLO, M. B.; PASTORINI, L. H. Within-and between-crown leaf variation of a tropical small tree *Eugenia hiemalis* in response to light. *Plant Ecology*, v. 225, n. 11, p. 1171-1181, 2024.

PENA, N. T. L.; LABIAK, P. H.; SCHWARTSBURD, P. B.; ALVES-ARAÚJO, A. Samambaias e Licófitas da Pedra do Elefante, Espírito Santo, Brasil. *Rodriguésia*, v. 70, e02482017, 2019.

PINTO JUNIOR, H. V. Estrutura, diversidade e distribuição espacial de comunidades vegetais sobre inselbergs do Espírito Santo, Brasil. 2017. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2017.

SANTOS, M. C.; SILVA, R. A.; OLIVEIRA, J. P. Variabilidade morfológica foliar de *Miconia sellowiana* em diferentes ambientes. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 15, n. 3, p. 289-298, 2022.

SILVA, J. B. Panorama sobre a vegetação em afloramentos rochosos. *Oecologia Australis*, v. 20, n. 3, p. 451 - 463, 2016.

SMILJANIC, K. B. A. Anatomia foliar das espécies de Asteraceae em um afloramento rochoso no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). 2005. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SOUZA, G. S. de; Castro, E. M.de; Soares, Â. M.; Santos, A. R. dos; Alves, E. Teores de pigmentos fotossintéticos, taxa de fotossíntese e estrutura de cloroplastos de plantas jovens de

Mikania laevigata Schultz Bip. ex Baker cultivadas sob malhas coloridas. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 4 Supl, p. 1843-1854, 2011.

SPEDMO. Paragliding Pedra dos Soares. Spedmo, [s.d.]. Disponível em: <https://www.spedmo.com/site.pg?id=5332>. Acesso em: 21 jan. 2025.

VIDAL, W. N.; VIDAL, M. R. R. Botânica Organografia – Quadros sinóticos ilustrados de fanerógamas. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 124 p.