

EFEITOS DO ALAGAMENTO NA ANATOMIA FOLIAR DE *Erythrina crista-galli*

Júlia Melo de Almeida¹; Juliana Aparecida Fernando²; Marcelo dos Santos Silva³

¹Universidade Federal de Pelotas – ju_melo.a@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – juli_fernando@yahoo.com.br

³Universidade Federal de Pelotas – marcelssa@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

Plantas submetidas ao alagamento enfrentam estresse hídrico devido à falta de oxigênio nas raízes, uma condição conhecida como anoxia ou hipóxia, o que compromete a respiração celular e afeta a absorção de água e nutrientes. Quando o solo está alagado, o oxigênio presente em seus poros é rapidamente consumido, e sua difusão torna-se extremamente limitada. Espécies vegetais adaptadas a crescer em solos alagados ou a tolerar períodos de alagamento desenvolveram estratégias que lhes permitem contornar essas adversidades. Essas adaptações podem ser observadas em diferentes níveis de organização, abrangendo aspectos morfológicos, anatômicos e fisiológicos, e possibilitam que essas plantas mitiguem os problemas associados à ausência ou baixa concentração de oxigênio, mantendo níveis fundamentais de absorção de água e nutrientes (PARENT et al., 2008).

Entretanto, de que forma os solos alagados podem influenciar a anatomia foliar? As folhas, principais órgãos da fotossíntese, enfrentam altos custos hídricos durante as trocas gasosas. Aproximadamente 99% da água absorvida pelas plantas é perdida por evapotranspiração, especialmente quando os estômatos se abrem para a difusão do CO₂, essencial à fotossíntese (TAIZ et al., 2017). Em condições de alagamento, a falta de oxigênio nas raízes limita a absorção de água, resultando em estresse hídrico, afetando a fotossíntese e a produtividade da planta (COLMER et al., 2014).

O presente estudo tem como objetivo descrever de forma inédita a anatomia foliar de *Erythrina crista-galli* L. (Leguminosae) e investigar as possíveis modificações qualitativas e quantitativas nos tecidos foliares, considerando a influência das condições do solo, seja este permanentemente alagado ou não-alagado. A principal hipótese é de que as modificações anatômicas foliares encontradas na população de solo alagado aumentam a eficiência no uso da água, caracterizando folhas com atributos anatômicos mais xeromórficos, conforme observado em outras espécies submetidas ao alagamento (WALDHOFF; PAROLIN, 2010). Entre essas modificações, destacam-se: i) aumento da densidade e do índice estomático; ii) maior espessamento da epiderme e da cutícula foliar; iii) menor desenvolvimento do parênquima clorofiliano, tanto paliádico quanto lacunoso, acompanhado de uma redução na espessura total da lâmina foliar; e iv) redução da área do xilema e aumento da área ocupada pelo floema nos feixes vasculares da nervura central da lâmina e do pecíolo.

2. METODOLOGIA

As folhas de *E. crista-galli* são compostas, apresentando três folíolos. Para as análises anatômicas, foi padronizado o uso do folíolo terminal. Folhas totalmente expandidas, do terceiro nó, foram coletadas de cinco indivíduos em duas populações: uma em área permanentemente alagada (Horto Botânico Irmão Teodoro Luis, 31°48'13"S e 52°24'56"W) e outra em área não-alagada (Campus

Universitário Capão do Leão da UFPel, 31°48'13"S e 52°24'56"W), ambas no município de Capão do Leão (RS), em novembro de 2022. As folhas foram fixadas em FAA 70% e armazenadas em álcool etílico 70% (KRAUS; ARDUIN, 1997).

A dissociação das epidermes seguiu o método de Franklin (KRAUS; ARDUIN, 1997). Para a realização dos cortes transversais, as amostras foram infiltradas e emblocadas com historesina, e seccionadas em micrótomo rotativo. As seções foram coradas com safranina e azul de toluidina e montadas em lâminas semipermanentes e permanentes para análise em microscopia óptica. O processamento das amostras foi realizado no Laboratório de Anatomia Vegetal. Os cortes transversais foram executados no Laboratório de Preparação de Biologia Celular, Histologia e Anatomia do Desenvolvimento. As seções foram fotografadas com o auxílio de câmera acoplada ao fotomicroscópio, no Laboratório de Zoologia de Invertebrados, todos do IB/UFPel.

Com os softwares Anati Quanti e ImageJ, mediram-se: i) número de estômatos e células epidérmicas propriamente ditas para o cálculo da densidade e índice estomático; ii) espessura da epiderme, parênquima paliçádico, lacunoso e mesofilo; e iii) área do sistema vascular da lâmina e do peciólulo (floema e xilema). As médias dos atributos quantitativos foram comparadas entre populações usando teste *t* de Student ($p \leq 0,01$) no software Past, para verificar diferenças estatisticamente significativas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As folhas de *E. crista-galli* são anfihipoestomáticas, apresentando estômatos paracíticos e, menos frequentemente, aniso- e anomocíticos. As células epidérmicas são poligonais, com paredes anticlinais retas e delgadas, com tricomas glandulares e multicelulares. A epiderme é uniestratificada, com células retangulares na face adaxial e papilosas na face abaxial. A cutícula é mais espessa na região da nervura central (NC) e nos feixes mais calibrosos, sendo imperceptível nas demais regiões. O mesofilo é dorsiventral e o parênquima paliçádico é interrompido na porção mediana da NC. A NC apresenta quatro feixes colaterais, sendo três voltados para a face abaxial e um para a adaxial. Os demais feixes vasculares são colaterais, com bainha do feixe (BF) evidente e extensão das células da BF alcançando ambas as epidermes; as células da extensão da BF apresentam conteúdo celular diferenciado. Idioblastos estão dispersos pelo floema e parênquima da NC. No bordo foliar, a camada mais superficial do parênquima paliçádico é interrompida no último feixe vascular, sendo substituída por células parenquimáticas. O peciólulo apresenta epiderme uniestratificada, papilosa, cutícula evidente e tricomas glandulares; o sistema vascular apresenta xilema e floema secundários. Cristais prismáticos estão presentes no parênquima da lâmina do folíolo e do peciólulo.

Erythrina crista-galli apresenta semelhanças anatômicas foliares com outras espécies do gênero, considerando os poucos dados publicados, como a presença de tricomas glandulares, estômatos para- e anomocíticos, mesofilo dorsiventral, prolongamento das células da BF e a presença de cristais prismáticos. No entanto, diferencia-se quanto à sinuosidade das paredes e ao tipo das células epidérmicas, ao sistema vascular da NC e do peciolo, além da ausência de cavidades secretoras, destacando-se pela epiderme abaxial papilosa, aqui descrita de forma inédita para o gênero (SILVA et al., 2013). Esta última característica contribui para o aumento da espessura da camada de ar estacionária sobre a superfície do folíolo,

restringindo a perda de vapor d'água dos estômatos para a atmosfera (LARCHER, 2006).

Assim como observado por HERRERA et al. (2009), não foram encontradas diferenças qualitativas entre as folhas de árvores de solos alagado e não-alagado. No entanto, os dados quantitativos indicaram diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,01$) na maioria dos atributos mensurados, com exceção da espessura da epiderme do peciólulo, da área do sistema vascular do peciólulo e da área do xilema no peciólulo (Tabela 1).

Tabela 1. Média \pm desvio padrão das variáveis quantitativas mensuradas no folíolo e no peciólulo medianos de *Erythrina crista-galli* L. (Leguminosae) em populações de árvores amostradas em solos alagados e não-alagados. Os atributos anatômicos sinalizados com (*) e em negrito apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as populações comparadas ($p \leq 0,01$).

| Atributos anatômicos / Tratamentos | Alagado | Não-alagado |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Seções paradérmicas da face adaxial | | |
| Densidade estomática (estômato/mm ²)* | 38,13 \pm 11,86 | 23,39 \pm 13,49 |
| Índice estomático* | 1,91 \pm 0,57 | 0,78 \pm 0,46 |
| Seções transversais do mesófilo | | |
| Espessura da epiderme adaxial (mm)* | 0,09 \pm 0,02 | 0,07 \pm 0,02 |
| Espessura do parênquima paliçádico* | 0,75 \pm 0,09 | 0,81 \pm 0,08 |
| Espessura do parênquima lacunoso* | 0,62 \pm 0,12 | 0,80 \pm 0,11 |
| Espessura do mesófilo* | 1,36 \pm 0,20 | 1,60 \pm 0,17 |
| Seção transversal do peciólulo | | |
| Espessura da epiderme | 0,17 \pm 0,02 | 0,17 \pm 0,02 |
| Área em seções transversais do sistema vascular da nervura central e do peciólulo | | |
| Sistema vascular da nervura central da lâmina do folíolo (mm ²)* | 9,81 \pm 0,67 | 8,59 \pm 0,73 |
| Sistema vascular do peciólulo (mm ²) | 12,61 \pm 0,57 | 12,80 \pm 1,43 |
| Floema + periciclo do peciólulo (mm ²)* | 6,76 \pm 0,35 | 6,40 \pm 0,72 |
| Xilema + medula do peciólulo (mm ²) | 5,85 \pm 0,54 | 6,39 \pm 1,56 |

A maior densidade e o índice estomático observados nas folhas das árvores em solos alagados, também relatados por SOUZA et al. (2010), podem ser interpretados como indicativos de maior eficiência no uso da água. Isso ocorre porque, com uma maior densidade de estômatos, as folhas são capazes de captar uma quantidade maior de CO₂ por unidade de área foliar em um curto intervalo de tempo. Dessa forma, os estômatos podem se abrir em períodos do dia em que o potencial de evapotranspiração é menor, fechando-se quando esse potencial se torna mais elevado. O aumento da espessura da epiderme adaxial, considerado um caráter xeromórfico, foi mencionado por WALDHOF; PAROLIN (2010) como um mecanismo que auxilia, também, na redução das taxas de transpiração.

A redução no parênquima fotossintético, tanto paliçádico quanto lacunoso, e, consequentemente, na espessura do mesófilo nas folhas de árvores alagadas, pode estar associada ao estresse hídrico imposto por essa condição, o que afeta diretamente as taxas fotossintéticas das folhas (HERRERA et al., 2009). De acordo com SOUZA et al. (2010), estudando variedades de milho, a hipóxia inibe o transporte de fotossintatos das folhas para as raízes, além de reduzir a produção de energia devido ao bloqueio da fosforilação oxidativa. A redução no fluxo de fotossintatos para as raízes pode resultar no acúmulo de carboidratos nos cloroplastos, o que leva à inibição da fotossíntese e à consequente diminuição das reservas de açúcares (LIAO; LIN, 2001). O aumento da espessura do sistema

vascular na nervura central e do floema no pecíolo pode facilitar o acúmulo e transporte de fotossintatos das folhas para outras partes da planta, contribuindo para mitigar a inibição da fotossíntese (SOUZA et al., 2010).

4. CONCLUSÕES

O estudo apresenta, de forma inédita, a descrição anatômica da folha de *E. crista-galli* e analisa a influência do alagamento sobre sua anatomia. Embora não tenham sido observadas diferenças qualitativas entre as folhas de árvores provenientes de solos alagados e não-alagados, os dados quantitativos revelaram diferenças estatisticamente significativas na maioria dos atributos avaliados. Essas modificações refletem adaptações ao estresse hídrico causado pela inundação, sobretudo em relação ao uso eficiente da água, como a redução do tecido fotossintético, o aumento da área do floema, da espessura da epiderme, e da densidade e do índice estomático.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAMLEY, H.; TURNER, N.C.; SIDDIQUE, K.H.M. Water Use Efficiency. In: KOLE, C. (ed). **Genomics and breeding for climate-resilient crops**. Berlin: Springer, 2013. p.225–268.
- COLMER, T.D.; ARMSTRONG, W.; GREENWAY, H.; ISMAIL, A.M.; KIRK, G.J.D.; ATWELL, B.J. Physiological mechanisms of flooding tolerance in rice: transient complete submergence and prolonged standing water. In: LÜTTGE, U.; BEYSCHLAG, W.; CUSHMAN, J. (eds). **Progress in Botany**, vol 75., Berlin: Springer, 2014. p. 255-307.
- HERRERA, A.; ESCALA, M.; RENGIFO, E. Leaf anatomy changes related to physiological adaptations to flooding in Amazonian tree species. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.21, n.4, p.301-308, 2009.
- KRAUS, J.E. ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica: EDUR, 1997.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2006.
- LIAO C.T; LIN C.H. Physiological Adaptation of Crop Plants to Flooding Stress. **Proceedings of the National Science Council, Republic of China. Part B, Life sciences**, v.25, n.3, p.148-157, 2001.
- PARENT C.; CAPELLI, N.; BERGER, A.; CRÈVECOEUR, M.; DAT, J.F. An overview of plant responses to soil waterlogging. **Plant Stress**, v.2, n.1, p.20-27, 2008.
- SILVA, M.M.B.; SANTANA, A.S.C.O.; PIMENTEL, R.M.M.; SILVA, F.C.L.; RANDAU, K.P.; SOARES, L.A.L. Anatomy of leaf and stem of *Erythrina velutina*. **Revista Brasileira de Farmacognosia Brazilian Journal of Pharmacognos**, v.23, n.2, p.200-206, 2013.
- SOUZA, T.C.; MAGALHÃES, P.C.; PEREIRA, F.J.; CASTRO, E.M.; SILVA JUNIOR, J.M.; PARENTONI, S.N. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.1, pp. 16-24, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**, 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- WALDHOFF, D.; PAROLIN, P. Morphology and Anatomy of Leaves. In: JUNK, W.; PIEDADE, M.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; PAROLIN, P. (eds). **Amazonian Floodplain Forests. Ecological Studies**, vol 210. Dordrecht: Springer, 2010. p.179-202.