

1 IMPORTÂNCIA DA ECOFISIOLOGIA VEGETAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA CULTURAS AGRÍCOLAS

João Paulo Tadeu Dias

Ecofisiologia é o estudo que trata dos processos e respostas vitais dos vegetais em função das alterações nos fatores ambientais. Os fatores ambientais e/ou edafoclimáticos correspondem às condições físicas, químicas e biológicas do solo, fotoperiodismo, variações de temperatura, umidade relativa, precipitação pluviométrica ou irrigação, vento, arranjo de plantas (espaçamento e densidade de plantio), ambiência de instalações utilizadas para cultivo, dentre outros. Tais fatores assumem grande importância em relação ao crescimento, sobretudo o que tange ao aumento do número de células e alongamento das células e, conseqüentemente, afeta o desenvolvimento vegetal, principalmente processos e respostas vitais dos vegetais ao ambiente.

Uma definição bastante aceita de ecofisiologia vegetal é aquela que:

[...] aborda questões ecológicas que estão sobre controle do crescimento, reprodução, sobrevivência, abundância e geografia de distribuição de plantas à medida que esses processos são afetados pelas interações entre plantas com suas propriedades físicas, químicas e o ambiente biótico. (LAMBERS et al., 2008, p. 1).

Essa definição de ecofisiologia, segundo Rosado, Dias e Mattos (2013) é amplamente relacionada com os objetivos funcionais da ecologia e ilustra o quanto é importante o entendimento desse conceito. O conhecimento da ecofisiologia é fundamental para o entendimento de questões tanto ecológicas quanto morfofisiológicas, necessárias à compreensão de processos e interações.

Beltrão e Oliveira (2011) delinearão um histórico por meio do trabalho de Luttge e Scarano (2004) sobre o termo ecologia e suas relações. Segundo esses autores, Alexander Von Humboldt (1769–1859) fundou a geografia de plantas depois de descobrir que a fisionomia da vegetação é determinada por condições ambientais e que a distribuição de plantas é dependente das condições do clima (HUMBOLDT, 1982). Na teoria de seleção natural proposta por Charles Darwin (DARWIN, 1859), o impacto de fatores ambientais sobre os organismos tornou-se aspecto essencial na seleção natural. Andreas Franz Wilhelm Schimper (1859–1901) efetuou várias expedições aos trópicos, fundou a geografia de plantas sobre as bases ecológicas e reconheceu a necessidade de experimentação fisiológica (SCHIMPER, 1898). Posteriormente, Ernst Stahl (1848–1919) introduziu e iniciou a experimentação em pesquisas ecológicas, sendo considerado o descobridor da ecofisiologia (LANGE et al., 1981; MAGDEFRAU, 1992; LUTTGE, 1997).

Rosado, Dias e Mattos (2013) reportaram a importância da ecofisiologia no estudo de comunidades e ecossistemas, registrando progressos impressionantes em aspectos conceituais e metodológicos que ligam as características das espécies à comunidade e ao ecossistema bem como as respostas às mudanças ambientais.

O conhecimento e entendimento dos princípios ecofisiológicos assumem grande importância em todos os vegetais, especialmente frente às principais culturas agrícolas exploradas comercialmente nos diferentes países do globo. Destacam-se as culturas da cana-de-açúcar, mamoneira, soja, frutíferas, hortaliças, algodoeiro, cafeeiro, girassol e milho.

Num cenário de mudanças climáticas globais, onde previsões meteorológicas indicam aumento da temperatura e alterações em outras variáveis ambientais, como o regime de chuvas, torna-se imprescindível o conhecimento dos fatores ecofisiológicos e estudos referentes à adaptação e seleção de material genético, sobretudo das principais culturas agrícolas, que toleram condições de estresse. Por exemplo, sabe-se que a escassez de água pode provocar alterações em diversos fenômenos fisiológicos, afetando todo o crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como suas produções. Taiz e Zeiger (2010) reportaram que plantas submetidas a estresse podem produzir etileno, fitormônio que induz a respostas fisiológicas como abscisão foliar e senescência vegetal.

As plantas, na natureza, estão continuamente expostas a estresses biótico e abiótico. Anjum et al. (2011) descreveram que entre esses estresses, o estresse causado pela seca é um dos fatores mais adversos do crescimento e da produtividade das plantas, sendo considerado uma ameaça grave para a produção sustentável de culturas num cenário de mudança climática. A seca desencadeia uma

grande variedade de respostas nas plantas que vão desde alterações do metabolismo celular às mudanças nas taxas de crescimento e perda de rendimentos das culturas. Compreender as respostas bioquímicas e moleculares à seca é essencial para uma percepção holística dos mecanismos de resistência das plantas às condições limitadas de água. O estresse causado pela seca diminui progressivamente as taxas de assimilação de CO₂ devido à redução da condutância estomática. Além disso, reduz o tamanho das folhas, a extensão das hastes e crescimento das raízes, altera as relações com a água da planta e reduz a eficiência do uso da água. Consequentemente, interrompe a ação de pigmentos fotossintéticos e reduz as trocas gasosas, levando a uma redução no crescimento e produtividade da planta. Ademais, a geração de espécies reativas de oxigênio (*Reactive Oxygen Species*, ROS) induzido por seca é bem conhecido a nível celular e é rigorosamente controlada nos níveis de produção e consumo, através de sistemas antioxidativos.

Como as emissões de carbono continuam a aumentar, alguns cientistas começaram a considerar como o mundo poderá atingir a meta de limitar o aumento da temperatura global de 2°C dos níveis pré-industriais. Martin Parry, do Imperial College de Londres, e seus colegas alertaram que devemos nos preparar para a necessidade de adaptação diante de uma superação da marca de 2°C. Como precaução, devemos começar a planejar como nos adaptar a um aumento de 4°C (KLEINER, 2010). De acordo o autor, algumas projeções fazem parte de um novo esforço chamado de “serviços do clima” (*climate services*, em inglês), que irá fornecer informações sobre as alterações climáticas para os usuários finais.

Um estudo bem caracterizado e que demonstra satisfatoriamente os efeitos do clima na fisiologia, ou melhor, ecofisiologia de espécies cultivadas, foi realizada por Sankaranarayanan et al. (2010),

que apresentaram dados do cultivo do algodoeiro. Também mostraram um aumento da temperatura da terra de 0,74°C durante o século passado (1906–2005) devido ao aumento dos gases de efeito estufa (mudanças climáticas) através de emissões antropogênicas conforme relatado pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, sigla em inglês para Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas). Assim, pode resultar em uma maior instabilidade na produção de alimentos e fibras. Aumentar a temperatura pode reduzir a duração do ciclo da cultura, mudar as populações de pragas, acelerar a mineralização nos solos e aumentar a evapotranspiração das plantas. É relatado que 40% e 50% menos biomassa ocorre em algodão (*Gossypium* sp.) a 20/10°C e 40/30°C, respectivamente, além de apresentar uma temperatura ótima de 30/20°C para seu desenvolvimento. No entanto, o aumento do CO₂ atmosférico aumenta o rendimento quântico produzido fotossinteticamente, ou seja, a fotossíntese líquida, produção de biomassa e produção final. Além disso, pode ocorrer maior produção e a maior eficiência de uso de insumos em plantas C₃ (via ciclo fotossintético de Calvin/Benson, como o algodoeiro). O estudo mostrou que há aumento de produção de sementes de algodão em 43% com CO₂ elevado para 550 mg L⁻¹ (concentração atmosférica fica em torno de 350 mg L⁻¹). Assim, o CO₂ elevado favorece o crescimento e o rendimento do algodoeiro, mas a temperatura mais alta influencia negativamente. O algodão pertence à planta C₃, que libera CO₂ durante a fotorrespiração (principalmente em temperaturas altas). A planta demanda alta entrada externa e uso excessivo de nitrogênio (N), o que pode ocasionar maior uso de fertilizantes, levando a mais emissões de óxido nitroso para a atmosfera (um dos piores gases de efeito estufa). As estratégias de mitigação devem visar reduzir a utilização de insumos inorgânicos com mais ênfase ao nitrogênio, incluindo as práticas integradas de gerenciamento de nutrientes, o uso de *Azotobacter* de

fixação de N e *Azospirillum* em rotação de leguminosas, aplicação de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta e incorporação de restos culturais de algodoeiro, que poderiam reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados e outros fertilizantes. Além disso, espécies de algodoeiro *G. barbadense* mostrou-se mais sensível do que *G. hirsutum*. *G. arboreum* foi adequado para ambiente com pouca chuva e erráticas em situações de seca. Em ambiente salino, *G. herbaceum* apresentou maior adaptabilidade (SANKARANARAYANAN, K. et al., 2010).

As projeções ajudarão a preparar regiões específicas para prováveis mudanças, como a seca, inundações ou tempestades mais frequentes. Sachs (2007) descreve que a utilização de combustíveis fósseis continua ininterrupta, sem captura ou redução das emissões de carbono, podendo aumentar as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa durante as próximas décadas à níveis perigosos, gerando custos extras à sociedade. Kloor (2009) reporta sobre o impacto de fenômenos como a desertificação, a subida do nível do mar, os deslocamentos da população e competição por recursos singulares (água e alimentos) na segurança nacional. Países como o Reino Unido e Estados Unidos já falam em “segurança climática” (*climate security*, em inglês), relacionando como o aquecimento global pode levar à escassez de água, falta de alimentos, seca prolongada, migrações em massa e conflitos violentos.

Nunca será possível medir sem ambiguidade o efeito das mudanças no clima, dada a escala da produção global de alimentos e o fato de que a agricultura está sempre mudando de múltiplas maneiras, afirmam Lobell e Gourджи (2012). Contudo, a melhor ciência disponível relacionada à mudança climática e a fisiologia das culturas indica que a mudança climática representa uma ameaça credível para o crescimento da produtividade global (por exemplo, para as culturas de cevada,

milho, arroz, sorgo, soja e trigo) a taxas necessárias para acompanhar a demanda crescente de alimentos. Aumentando a escala de investimentos na melhoria das culturas, e aumentando a ênfase desses investimentos sobre fatores de mudança global, ajudará a sustentar o crescimento das produções nas próximas décadas.

Espera-se que as mudanças climáticas influenciem as condições de crescimento das culturas através de aumentos diretos dos níveis de dióxido de carbono (mais substrato disponível para fotossíntese, CO₂) e temperatura média (energia de ativação de reações bioquímicas e metabólicas). Contudo, Chapman et al. (2012) relataram que pode haver grande variabilidade no clima, com potencial para aumentar a ocorrência de estresses abióticos extremos, como calor, seca, inundação e salinidade. Efeitos associados às mudanças climáticas e maiores concentrações de CO₂ incluem impactos sobre a eficiência de uso da água, da produção em terras secas, além de culturas irrigadas e potenciais efeitos na biossegurança, produção e qualidade do produto através de impactos bióticos, como ocorrência de pragas e doenças endêmicas e introduzidas, além da tolerância a esses estresses. A adaptação direta a essas mudanças pode ocorrer através de mudanças na cultura, na fazenda e na cadeia produtiva, além de gerenciamento e mudanças econômicas e ou geográficas, onde operam diferentes sistemas de produção. Com relação às culturas específicas, uma adaptação a longo prazo é a criação de novas variedades que apresentam um melhor desempenho no seu crescimento e desenvolvimento.

É fato, que se não forem tomadas providências de forma a diminuir ou inibir os efeitos do aquecimento global toda a sociedade poderá arcar com o ônus desse processo, principalmente, comunidades situadas em países menos desenvolvidos, como o Brasil, que poderão ser os primeiros e mais atingidos pelas adversidades do clima, como

fome, secas, inundações e problemas fitossanitários diversos (surtos desordenados de pragas em lavouras). Atitudes concretas poderão ser realizadas pela sociedade e, especialmente, pelos cientistas, tais como: incentivar a geração e o uso de biocombustíveis e energias renováveis; apoio à geração de novas tecnologias menos impactantes; melhoramento e introdução de plantas mais adaptadas às adversidades do clima; além de conhecimentos e entendimento das variáveis ecofisiológicas que afetam as principais culturas agrícolas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avanços referentes ao estudo, conhecimento e entendimento dos processos ecofisiológicos e metabólicos possibilitam desenvolvimento tecnológico e, conseqüentemente, produtivo das principais culturas agrícolas, como a cana-de-açúcar, a mamoneira, a soja, as frutíferas, as hortaliças, o algodoeiro, o cafeeiro, o girassol e o milho.

Num cenário de mudanças climáticas globais, onde previsões meteorológicas indicam aumento da temperatura e alterações drásticas em outras variáveis ambientais, como o regime de chuvas, torna-se imprescindível o conhecimento dos fatores ecofisiológicos e estudos referentes à adaptação e seleção de material genético, sobretudo das principais culturas agrícolas, que toleram condições de estresse.

REFERÊNCIAS

ANJUM, A. S. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, 2011, p. 2026–2032.

BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal**. Ed. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão, Maria Isaura Pereira de Oliveira, Brasília. DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, p. 322.

CHAPMAN, S. C. et al. **Plant adaptation to climate change-opportunities and priorities in breeding**. *Crop & Pasture Science*, v. 63, 2012, p. 251–268.

DARWIN, C. **On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life**. London, UK: John Murray, 1859.

HUMBOLDT, A. VON. **Sudamerikanische Reise: 1808**. Nordlingen: Greno Verlagsgesellschaft, 1982.

KLEINER, K. **Climate science in 2009**. *Nature reports climate change*. V. 4, 2010. Disponível em: <<http://www.nature.com/reports/climatechange>> Acesso em: 26 out. 2017.

KLOOR, K. **The war against warming**. *Nature reports climate change*. (policy watch) v. 3, 2009. Disponível em: <<http://www.nature.com/reports/climatechange>> Acesso em: 26 out. 2017.

LAMBERS, H., CHAPIN, III F. S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. Springer. 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3>. Acesso em: 26 out. 2017.

LANGE, O. L.; OSMOND, C. B.; NOBEL, P.; ZEIGLER, H. (Ed.). **Physiological plant ecology I: responses to the environment**. Berlin, DE: Springer-Verlag, 1981. 4 v. (Encyclopedia of Plant Physiology New Series, v. 12A).

LOBELL, D. B.; GOURDJI, S. M. The Influence of Climate Change on Global. Crop Productivity. **Plant Physiology**, v. 160, 2012, p. 1686–1697.

LUTTGE, U. **Physiological ecology of tropical plants**. Berlin, DE: Springer-Verlag, 1997, p. 387.

LUTTGE, U.; SCARANO, F. R. Ecofisiologia. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 1, 2004, p. 1–10.

MAGDEFRAU, K. **Geschichte der botanic: leben und leistung grosser forschers**. Stuttgart: Gustav Fisher, 1992, p. 359.

ROSADO, B. H. P.; DIAS, A. T. C.; MATTOS, E. A. Going Back to Basics: Importance of Ecophysiology when Choosing Functional Traits for Studying Communities and Ecosystems. **Natureza & Conservação**, v. 11, n. 1, 2013, p. 15–22.

SACHS, J. D. **Averting disaster: at what cost?** Nature reports climate change. V. 1, 2007. Disponível em: <<http://www.nature.com/reports/climatechange>> Acesso em: 26 out. 2017.

SANKARANARAYANAN, K. et al. Climate change and its impact on cotton (*Gossypium* sp.). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 80, n. 7, 2010, p. 561–75.

SCHIMPER, A. F. W. **Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage**. Jena: G. Fisher, 1898, p. 876.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5th ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2010.