

# ECOFISIOLOGIA DE CULTURAS AGRÍCOLAS

João Paulo Tadeu Dias (Org.)



editora



## **UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Reitora  
LAVÍNIA ROSA RODRIGUES

Vice-reitor  
THIAGO TORRES COSTA PEREIRA

Pró-reitor de Planejamento, Gestão e Finanças  
FERNANDO ANTÔNIO FRANÇA SETTE PINHEIRO

Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação  
MAGDA LÚCIA CHAMON

Pró-reitora de Ensino  
MICHELLE GONÇALVES RODRIGUES

Pró-reitor de Extensão  
MOACYR LATERZA FILHO

### **EXPEDIENTE**

Organização  
JOÃO PAULO TADEU DIAS

Revisão  
LEANDRO ANDRADE

Projeto gráfico e diagramação  
THALES SANTOS

### **EDUEMG • EDITORA DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Editor-chefe  
FELIPE DOMINGUES

Revisora  
DANIELE ALVES RIBEIRO

Jornalista revisor  
LEANDRO ANDRADE

Diagramador  
THALES SANTOS

### **CONSELHO EDITORIAL**

DIJON MORAES JUNIOR  
FLAVIANE DE MAGALHÃES BARROS

FUAD KYRILLOS NETO  
HELENA LOPES DA SILVA  
JOSÉ EUSTÁQUIO DE BRITO

JOSÉ MÁRCIO BARROS  
VERA LÚCIA DE CARVALHO CASA NOVA

Imagem de capa por pixabay.com. Disponível em:  
<https://pixabay.com/pt/de-milho-campo-agricultura-planta-691634/>

Direitos desta edição reservados à EDUEMG.  
Rodovia Papa João Paulo II, 4143 • Ed. Minas 8º andar  
Cidade Administrativa • Bairro Serra Verde • BH-MG • CEP: 31630-900  
(31) 3916-9080 • e-mail: editora@uemg.br • eduemg.uemg.br

# ECOFISIOLOGIA DE CULTURAS AGRÍCOLAS

João Paulo Tadeu Dias (Org.)



Editora da Universidade do Estado de Minas Gerais  
Belo Horizonte 2018

E17 Ecofisiologia de culturas agrícolas / João Paulo Tadeu Dias (Org.).  
- Belo Horizonte : EdUEMG, 2018.  
169 p. : il.  
Vários autores.  
Inclui bibliografia.  
ISBN 978-85-5478-015-9

1. Ecofisiologia vegetal. 2. Culturas agrícolas. 3. Fisiologia vegetal.  
I. Universidade do Estado de Minas Gerais. II. Dias, João Paulo  
Tadeu.

CDU 581.5

Ficha catalográfica: Valdenícia Guimarães Rezende CRB-6/3099.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	06
APRESENTAÇÃO .....	07
CAPÍTULO 1. IMPORTÂNCIA DA ECOFISIOLOGIA VEGETAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA CULTURAS AGRÍCOLAS .....	09
CAPÍTULO 2. RESPOSTAS E ADAPTAÇÃO A DIFERENTES ESTRESSES ABIÓTICOS .....	19
CAPÍTULO 3. ECOFISIOLOGIA DO ALGODOEIRO .....	32
CAPÍTULO 4. ECOFISIOLOGIA DE HORTALIÇAS .....	44
CAPÍTULO 5. ECOFISIOLOGIA DE FRUTÍFERAS .....	60
CAPÍTULO 6. ECOFISIOLOGIA DO CAFEIEIRO .....	79
CAPÍTULO 7. ECOFISIOLOGIA DA MAMONEIRA .....	109
CAPÍTULO 8. ECOFISIOLOGIA DA SOJA .....	120
CAPÍTULO 9. ECOFISIOLOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	133
CAPÍTULO 10. ECOFISIOLOGIA DO MILHO .....	150
AUTORES .....	165

## **AGRADECIMENTOS**

Sobretudo, devo encarecidamente agradecer a Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) e, em especial, aos companheiros e colegas da Unidade de Ituiutaba - MG, pela paciente e competente parceria ao longo das atividades de ensino, pesquisa e extensão, além do apoio dos coordenadores, diretor e seus respectivos vices-representantes.

Enfim, agradeço a todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização do manuscrito e posterior elaboração do livro referente a esse tema essencial e que demanda conhecimentos de tantas áreas do saber para quem trabalha com plantas, que é a ecofisiologia vegetal.

João Paulo Tadeu Dias,  
Fevereiro de 2018.

## **APRESENTAÇÃO**

A ecofisiologia diz respeito ao estudo sistemático e generalizado do ambiente, ou seja, dos fatores edáficos (referentes ao solo) e climáticos influenciando o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os fatores edáficos e climáticos têm grande impacto nas plantas, sobretudo no crescimento, desenvolvimento, reprodução, sobrevivência e produção. Os fatores edáficos são aqueles relacionados às condições e características do solo que afetam o crescimento, desenvolvimento e sobrevivência; neles pode-se incluir o ar, a solução (água) do solo e a composição de elementos minerais. A composição mineral e orgânica, condutividade hidráulica, capacidade de troca de íons (sobretudo cátions), potencial hidrogênio (pH), além da micro/meso e macro flora e fauna, aliados ao clima influenciam o ar, água e nutrientes minerais do solo. Além disso, os fatores climáticos afetam a homeostase

fisiológica, principalmente os gases atmosféricos, luz (intensidade e qualidade), temperatura, umidade, precipitação e vento, dentre outros. Também, a atividade antrópica pode atuar e modificar o ambiente e, especialmente, o clima de modo a favorecer o desenvolvimento das principais culturas agrícolas.

A ecofisiologia de algumas das principais culturas agrícolas tem sido um segmento de estudo e trabalho promissor. Portanto, torna-se extremamente relevante lançar mão deste livro e contribuir para discussões e esclarecimentos sobre o tema.

João Paulo Tadeu Dias

## **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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 C<sub>3</sub> (via ciclo fotossintético de Calvin/Benson, como o algodoeiro). O estudo mostrou que há aumento de produção de sementes de algodão em 43% com CO<sub>2</sub> elevado para 550 mg L<sup>-1</sup> (concentração atmosférica fica em torno de 350 mg L<sup>-1</sup>). Assim, o CO<sub>2</sub> elevado favorece o crescimento e o rendimento do algodoeiro, mas a temperatura mais alta influencia negativamente. O algodão pertence à planta C<sub>3</sub>, que libera CO<sub>2</sub> 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, CO<sub>2</sub>) 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 CO<sub>2</sub> 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: G. Neumann, Neudamm 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.; GOURDJJI, 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.

## **2 RESPOSTAS E ADAPTAÇÃO A DIFERENTES ESTRESSES ABIÓTICOS**

João Paulo Tadeu Dias

O significado etimológico da palavra “estresse” é coerção, derivada do latim *stringere*, ou forçando em uma direção. Na maioria das vezes, estresse é considerado um desvio significativo das condições ótimas para a vida, o que induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, em princípio reversíveis, mas que podem se tornar permanentes. Mesmo se a condição de estresse é temporária, a vitalidade da planta torna-se cada vez menor conforme a duração do estresse. Quando o limite da capacidade de ajuste da planta é alcançado, os distúrbios que antes não se manifestavam aparecem na forma de doenças crônicas ou injúrias irreversíveis. Com o objetivo de evitar confusões, o significado do termo empregado deve ser claro em todos

os casos e, frequentemente, se usa o termo fator de estresse ou estressor. Fator de estresse ou estressor seria qualquer fator ambiental que retira energia de organismos, restringe o crescimento e a reprodução ou perturba o equilíbrio de um sistema, mobilizando seus recursos, além de aumentar seus ganhos energéticos, indicando um estímulo. A resposta ao estresse ou o estado de estresse denota a resposta ao estímulo, bem como o estado subsequente de adaptação (LARCHER, 2004).

O conhecimento das interações entre os fatores ambientais e a fisiologia vegetal facilita a identificação de mudanças ambientais (estresse abióticos) como deficiência de luz, alta temperatura ou déficit hídrico (RESTREPO-DÍAZ; MELGAR; LOMBARDINI, 2010). Respostas e adaptação à estresse abiótico foram amplamente estudadas por Taiz e Zeiger (2010), que dissertaram sobre diversos aspectos importantes relativos ao tema como a adaptação e plasticidade fenotípica, o ambiente abiótico e o impacto biológico nos vegetais, a influência do clima e solo no crescimento das plantas, déficit hídrico e resistência à seca, ajuste osmótico vegetal em solo seco para acumular solutos, estresse e choques térmicos, estresse pela salinidade e falta de oxigênio, dentre outros.

O fator ambiental clima, segundo Larcher (2004), determina as condições para o crescimento da planta e sua área de distribuição e impõe limites para sua sobrevivência. O clima pode ser entendido como as condições médias e rotineiras de tempo de uma determinada região, onde o macroclima – o qual é determinado por uma rede de estações meteorológicas – é a base para a caracterização de uma zona climática e de um clima regional. O termo recorrente é bioclima, que corresponde ao microclima ao redor de onde as plantas crescem: do limite das superfícies das partes aéreas até onde as raízes se estendem no solo. É um clima característico, determinado pela estrutura e pelo funcionamento da comunidade vegetal. Portanto, as plantas afetam as

características locais do ambiente onde se encontram e do qual fazem parte no amplo complexo ambiental.

Plantas crescem e se desenvolvem em um complexo ambiental que envolve múltiplos fatores abióticos (não vivos), químicos ou físicos, com grande variação de tempo e localização geográfica. Esses fatores abióticos incluem qualidade do ar, vento, intensidade e qualidade de luz, temperatura, água, concentração de elementos nutrientes, potencial hidrogeniônico (pH) e potencial redox, dentre outros. Flutuações nesses fatores ambientais fora de taxas normais têm consequências químicas e fisiológicas negativas para as plantas.

Conceitos como adaptação e plasticidade fenotípica ajudam a entender as relações vegetais com mais propriedade. As plantas têm vários mecanismos para sobreviver e, frequentemente, prosperam frente a um complexo ambiental em que estão expostas e que vivem. Adaptação ao ambiente é caracterizada como mudanças genéticas dentro a população em que foi exposta à seleção natural por muitas gerações.

Além disso, plantas individuais também podem responder às mudanças no ambiente por alterar diretamente sua fisiologia e morfologia para conseguir sobreviver melhor ao novo ambiente. Essas mudanças não requerem novas modificações genéticas e, se a resposta genética de um indivíduo melhora com repetidas exposições à nova condição ambiental, essa resposta é chamada de aclimação. As respostas são frequentemente referidas como plasticidade fenotípica e representa mudanças não permanente na fisiologia e morfologia de um indivíduo que pode ser reversa se prevalecer as condições ambientais. Ambas, adaptação e plasticidade fenotípica podem contribuir para as plantas desenvolverem tolerância aos extremos no ambiente abiótico.

Respostas a estresses podem ser explicadas por vários fatores ambientais abióticos, como encharcamento, seca, radiação ultravioleta (UV) elevada, salinidade, metais pesados e altas e baixas temperaturas. É comumente usado o termo resistência ao estresse ou tolerância ao estresse que são melhor entendidas como diferentes expressões da plasticidade fenotípica, ou seja, como uma determinada planta (genótipo) responde a mudanças nos ambientes abióticos.

O ambiente abiótico e o impacto biológico nas plantas pode ocorrer por meio do entendimento das relações entre os principais fatores abióticos que influenciam o crescimento e desenvolvimento vegetal como a água, os elementos minerais na solução do solo, temperatura e luz.

O clima e os fatores edáficos (relacionados ao solo) têm um enorme impacto nas plantas, que envolvem seu crescimento, desenvolvimento, reprodução e sobrevivência. Os fatores climáticos que afetam a homeostase fisiológica incluem gases atmosféricos, luz, temperatura, umidade, precipitação e vento. Os homens podem influenciar negativamente o clima de diferentes formas: por reduzir água disponível, pelo aumento do nível de gases de efeito estufa na atmosfera, e através de gases poluentes do ar, dentre outras. Os fatores abióticos podem também influenciar um ao outro. Por exemplo, alta luminosidade aumenta temperatura do ar, ventos modulam temperatura através da evaporação, e os oceanos normalmente regulam a temperatura atmosférica e tempestades. Os fatores climáticos podem variar, periodicamente, ou em escala de décadas ou mais, em determinado ecossistema. As variações podem ser graduais e previstas ou abruptas e intermitentes.

Os fatores edáficos são relacionados às condições do solo que afetam o crescimento, desenvolvimento e sobrevivência vegetal, dentre

os quais se destacam ar, mistura e a composição de elementos minerais. A composição orgânica e mineral do solo; condutividade hidráulica; capacidade de troca de íons; pH; além do micro, meso e macrofauna e flora, junto com o clima, determinam a viabilidade da planta ao ar, água e micronutrientes minerais do solo.

Os solos são classificados de acordo com o tamanho das partículas, sendo maiores (areia) a menores (argila). Em geral, solos com partículas grandes e alta porosidade têm menos água disponível que solos com pequenas partículas ou pouca porosidade. As raízes das plantas têm acesso ao O<sub>2</sub> e aeração maior em solos que são altamente porosos. Solos com material orgânico, derivado de decomposição de animais, plantas e microfauna e ou microflora podem ocorrer. Fisiologicamente, solos ancoram as plantas em um substrato e governam o desenvolvimento de raiz.

As plantas podem experimentar estresse fisiológico quando um fator abiótico é deficiente ou em excesso, referido como um desbalanço ou desequilíbrio. Além disso, plantas nativas que são adaptadas podem causar estresse fisiológico em plantas não nativas. Muitos cultivos agrícolas, por exemplo, são cultivados em regiões onde não são altamente adaptados. O rendimento das culturas foi estimado em produzir somente 22% do seu potencial genético para o rendimento por causa das condições de solo e clima subtópicos.

O desequilíbrio dos fatores abióticos do ambiente causam efeitos primários e secundários nas plantas. Efeitos primários, como redução do potencial hídrico e desidratação celular, diretamente afetam as propriedades físicas e químicas das células, como também causam efeitos secundários. Esses efeitos secundários, como redução da atividade metabólica, citotoxicidade de íons e produção das espécies reativas de oxigênio (também conhecidas pela sigla em inglês, ROS, *Reactive*

*Oxygen Species*), iniciação e aceleração da destruição da integridade celular e poderá levar, em última análise, à morte celular. Diferentes fatores abióticos podem causar efeitos primários semelhantes, porque eles afetam vários processos celulares. Esse é o caso da deficiência de água, salinidade e congelamento, todos causam redução do potencial de pressão (pressão de turgor,  $\Psi_p$ ) e desidratação celular. É evidente que o desequilíbrio em muitos fatores abióticos reduz a proliferação celular, fotossíntese, integridade de membrana e estabilidade de proteína, além de induzir a produção de Espécies Reativas de Oxigênio (ROS), dano oxidativo e morte celular.

No déficit hídrico pode-se estabelecer uma distinção entre retardo de desidratação (a capacidade de manter a hidratação do tecido) e a tolerância à desidratação (a capacidade de funcionar enquanto desidrata), que são, às vezes, referidas como tolerância à seca sob potenciais hídricos alto e baixo, respectivamente. O escape da seca engloba as plantas que completam seu ciclo durante a estação úmida, antes do início da seca.

A produtividade de plantas, limitada pela água, depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência do seu uso pelo organismo. Uma planta capaz de obter mais água ou que tem maior eficiência no seu uso resistirá melhor à seca. Algumas plantas possuem adaptações, como os tipos fotossintéticos  $C_4$  (também conhecida como via fotossintética de Hatch-Slack) e CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), que lhes permitem explorar ambientes mais áridos. Essas plantas exibem mecanismos de aclimação que são ativados em resposta ao estresse hídrico. Além disso, o déficit hídrico pode ser definido como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula, que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no seu estado de maior hidratação.

A expansão foliar é afetada muito precocemente, quando a absorção de água é reduzida. No entanto, a atividade fotossintética é muito menos reduzida. A inibição da expansão foliar reduz o consumo de carbono e energia, e uma proporção maior de fotoassimilados vegetais pode ser distribuída ao sistema subterrâneo, onde eles podem sustentar o crescimento posterior de raízes. Tudo isto leva a um crescimento preferencial das raízes em direção a zonas do solo que permanecem úmidas. Com o avanço do déficit hídrico as camadas superficiais do solo são, em geral, as primeiras a secar. Desse modo, as plantas exibem um sistema de raízes predominantemente superficial. Quando todas as camadas do solo estão umedecidas, há perda de raízes superficiais e ocorre proliferação de raízes profundas, quando a água é esgotada nas camadas superficiais do solo. O crescimento acentuado de raízes em direção às zonas úmidas do solo durante o estresse exige alocação de assimilados para as extremidades das raízes em crescimento.

O ajuste osmótico vegetal em solo seco, ou seja, em condição de déficit hídrico, pode ocorrer para acumular solutos. A água pode mover através do “*continuum*” solo-planta-atmosfera somente se o potencial hídrico diminuir ao longo do caminho.  $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$ , onde  $\Psi_w$  = potencial hídrico (w, referente à água, *Water*, em inglês);  $\Psi_s$  = potencial de solutos e;  $\Psi_p$  = pressão hidrostática. Quando o potencial hídrico da rizosfera (um microclima entorno da raiz) diminui devido ao déficit hídrico ou salinidade, as plantas podem continuar a absorver água somente enquanto o  $\Psi_w$  é baixo (mais negativo) que a água no solo. Considerando que o  $\Psi_p$  poderia diminuir o  $\Psi_w$ , mas poderia também resultar na perda de turgor e diminuição do crescimento. Por outro lado, a diminuição do  $\Psi_s$  pode manter o potencial hídrico (gradiente) entre células, o solo e a planta, ou entre a planta e a atmosfera, sem diminuir o turgor ou o crescimento. O ajuste osmótico é a capacidade das células

vegetais em acumular solutos e usar durante o estresse osmótico em baixo  $\Psi_w$ .

Quando íons são compartimentalizados no vacúolo, outros solutos são acumulados no citoplasma para manter o potencial hídrico equilibrado na célula. Esses solutos são chamados de solutos compatíveis ou osmolitos compatíveis. Solutos compatíveis são compostos orgânicos que são ativos osmoticamente na célula, mas não desestabilizam a membrana ou interferem com as funções enzimáticas, devido à grande concentração de íons, sem detrimento ao metabolismo. Solutos compatíveis comuns incluem aminoácidos como a prolina, açúcares/álcool como o manitol e compostos com amônia quaternária com glicina betaína.

A quelação é a junção de um íon com ao menos dois ligantes (átomos) com uma molécula quelante. A molécula quelante pode ter diferentes átomos disponíveis para a ligação, como o enxofre (S), nitrogênio (N) ou oxigênio (O), e diferentes átomos com diferentes afinidades do íon com o quelante. Em torno do íon forma um complexo, a molécula quelante prende o íon menos ativo quimicamente e, por isso, reduz o potencial de toxicidade. O complexo é normalmente translocado para outras partes das plantas ou armazenado no citoplasma (normalmente no vacúolo). O transporte a longas distâncias do íon quelado, das raízes para os ramos, é também um processo crítico de hiperacumulação de metais nos ramos. A nicotianamina quelante do ferro e o aminoácido livre histidina têm sido implicados na quelação de metais durante o processo de transporte. Além do mais, as plantas também sintetizam outros ligantes de quelação de íons, como os fitoquelantes.

Fitoquelantes são moléculas de pequeno tamanho, tíois consistindo do aminoácido glutamato, cisteína e glicina. Os fitoque-

lantes são sintetizados pela enzima fitoquelante sintase. Além disso, a quelação ativa o transporte para dentro do vacúolo e para fora da célula por contribuir para a tolerância interna ao metal.

Estresses e choques térmicos frequentemente podem ocorrer no ambiente seco. Além disso, a maior parte dos tecidos das plantas superiores é incapaz de sobreviver a uma prolongada exposição a temperaturas acima de 45 °C. Entretanto, sementes secas e grãos de pólen de algumas plantas podem suportar 120 °C e 70 °C, respectivamente.

Uma exposição breve e periódica a estresses térmicos subletais frequentes induz tolerância a temperaturas letais, um fenômeno que recebe a denominação de termotolerância induzida.

Muitas plantas superiores CAM, suculentas, como as dos gêneros *Opuntia* e *Sempervivum* estão adaptadas a altas temperaturas. Elas podem tolerar temperaturas internas de 60 a 65° C, sob condições de radiação solar intensa no verão. Por manterem seus estômatos fechados durante o dia, as plantas CAM não podem diminuir a temperatura por transpiração. Em vez disso, elas dissipam o calor da radiação solar incidente por reemissão da radiação solar de onda longa (infravermelho) e perda de calor por condução e convecção.

Por outro lado, plantas C<sub>3</sub> (via metabólica fotossintética conhecida como ciclo de Calvin/Benson) e C<sub>4</sub> típicas, não irrigadas, contam com resfriamento pela transpiração para reduzir sua temperatura foliar.

A fotossíntese e a respiração são inibidas sob temperaturas altas, mas com o aumento da temperatura as taxas fotossintéticas caem antes das taxas respiratórias. A temperatura na qual a quantidade de CO<sub>2</sub> fixado pela fotossíntese iguala-se a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado por respiração, em um determinado intervalo de tempo, é denominado ponto de compensação da temperatura.

Sob temperaturas acima do ponto de compensação da temperatura, a fotossíntese não pode repor o carbono usado como substrato para a respiração. Como consequência, as reservas de carboidratos diminuem e os frutos e verduras perdem açúcares. Tal desequilíbrio entre fotossíntese e respiração é uma das principais razões do efeito deletério de temperaturas altas.

Em resposta a elevações repentinas de temperatura de 5 a 10° C, as plantas produzem um conjunto único de proteínas, identificado como proteínas de choque térmico (HSP, do inglês, *Heat Shock Proteins*). A maior parte das HSPs auxilia as células a suportar o estresse térmico, funcionando como chaperonas moleculares. O estresse térmico faz com que muitas proteínas, que funcionam como enzimas ou componentes estruturais, tornem-se estendidas ou maldobradas, levando, assim, à perda da estrutura e da atividade enzimática.

Tais proteínas maldobradas muitas vezes agregam-se e se precipitam, criando sérios problemas nas células. As HSPs atuam como chaperonas moleculares e servem para alcançar um dobramento correto de proteínas maldobradas e agregadas para evitar a deformação das células submetidas a temperaturas elevadas.

As proteínas de choque térmico foram descobertas na mosca-das-frutas (*Drosophila melanogaster*) e, desde então, têm sido identificadas em outros animais, em humanos, bem como plantas, fungos e microrganismos.

As HSPs também são induzidas por estresses ou condições ambientais bem diferentes, incluindo déficit hídrico, tratamento por Ácido Abscísico (ABA), lesão, temperatura baixa e salinidade. Assim, células anteriormente expostas a um estresse podem se tornar protegidas contra outro estresse. É o caso dos frutos de tomateiro, nos quais o choque térmico (48 horas a 38°C) promove

acumulação de HSP e protege as células do resfriamento a 2°C por 21 dias.

O estresse pela salinidade e falta de oxigênio também são problemas bastante sérios para as plantas. O estresse pela salinidade resulta da acumulação de sal no solo. Algumas espécies halófitas são altamente tolerantes ao sal (beterraba e tamareira são altamente tolerantes e, algodoeiro e cevada são moderadamente tolerantes), mas a salinidade reduz o crescimento e a fotossíntese em espécies sensíveis (milho, cebola, citros, alface e feijoeiro). O dano por sal decorre de um decréscimo do potencial hídrico do solo, que torna a água menos disponível, assim como a toxicidade de íons específicos acumulados em concentrações prejudiciais. As plantas evitam o dano provocado pelo sal por meio da exclusão do excesso de íons das folhas ou por compartimentalização de íons em vacúolos. Tem sido estabelecida uma rota de sinalização, a rota *Salt Overly Sensitive* (SOS), que regula a expressão dos genes envolvidos na homeostase iônica.

As respostas de plantas a estresses abióticos, assinalados por Beltrão e Oliveira (2011), resultam em efeitos gerais e específicos sobre o crescimento. Assim, plantas que crescem sob condições limitantes de água apresentam crescimento limitado por causa do declínio da fotossíntese e da interferência na disponibilidade de nutrientes que resulta do processo de secagem do solo. A salinidade interfere no crescimento bem como conduz a seca fisiológica e a toxidez de íons. A salinidade e a seca do solo são um enorme problema mundial para agricultura, horticultura e silvicultura. As respostas iniciais das plantas à seca e à salinidade são semelhantes; ambos são atribuídos ao déficit hídrico que afeta o metabolismo e inibe o crescimento e o desenvolvimento das plantas (FORNI; DUCA; GLICK; 2017).

A deficiência de oxigênio é típica de solos inundados. Ela reduz o crescimento e a sobrevivência de muitas espécies. Por outro lado, plantas de pântanos e de cultivos como o arroz estão bem adaptadas a resistir a deficiência de oxigênio no ambiente de suas raízes. A maioria dos tecidos de plantas não pode sobreviver anaerobicamente, mas alguns órgãos, como o embrião e o coleóptilo do arroz, podem sobreviver por semanas sob condições anóxicas (ausência de oxigênio).

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Avanços referentes ao conhecimento e entendimento dos processos ecofisiológicos, metabólicos e os mecanismos envolvidos com a resposta de plantas a estresses abióticos estão direcionando e reforçando estudos para compreender, de forma ampla, a complexa rede de interação planta-ambiente.

## REFERÊNCIAS

- 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.
- FORNI, C.; DUCA, D.; GLICK, B. Mechanisms of plant response to salt and drought stress and their alteration by rhizobacteria. **Plant Soil**, v. 410, 2017, p. 335–356.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: RiMa, 2004, p. 531.
- RESTREPO-DÍAZ, H.; MELGAR, J. C.; LOMBARDINI, L. Ecophysiology of horticultural crops: an overview. **Agronomía Colombiana**, v. 28, n. 1, 2010, p. 71–79.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5th ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2010.

### **3 ECOFISIOLOGIA DO ALGODOEIRO**

Antônio dos Santos Júnior

Izabela Thais dos Santos

Rita de Paula Lopes

Edimilson Alves Barbosa

O algodão é a fonte mais importante de fibra natural no Brasil, além de apresentar significativa importância socioeconômica na geração de renda e empregos. Atualmente, o Brasil ocupa a 5ª posição entre os maiores produtores mundiais de algodão, com área plantada de 955,6 milhões de hectares e estimativa de produtividade de 1.580 kg ha<sup>-1</sup> safra 2016/2017, que é 17,1% superior à safra 2015/2016 (CONAB, 2017). Tal melhoria deve-se às condições climáticas favoráveis à cultura. A produtividade para a safra 2017/2018 tem perspectivas de crescimento de dois dígitos com valores de comercialização de R\$ 78,00 por arroba (CONAB, 2017).

Existem indícios que o gênero *Gossypium*, no qual o algodoeiro pertence, tenha surgido há aproximadamente 12,5 milhões de anos (WENDEL et al., 2010), nos centros primários de origem localizados na Austrália na região de Kimberley, África e Ásia, nas penínsulas Somálicas e Arábicas, respectivamente, e no México, nas regiões Centro-Occidental e Sul (ECHER, 2014). Devido à dificuldade de informações, principalmente na África e Ásia, acredita-se que o número de espécies pertencentes ao gênero *Gossypium* seja subestimado apresentando atualmente 49 espécies (ECHER, 2014), sendo destas *Gossypium hirsutum* L. a espécie responsável por mais de 90% da produção mundial, seguida por *G. barbadense* L. com 8% da produção (VIDAL NETO; FREIRE, 2013).

As espécies de algodoeiro, em sua grande maioria, são oriundas de regiões com clima tropical e subtropical de baixa latitude, ocorrendo em uma faixa que compreende ambientes que variam de áridos à extremamente áridos (ECHER, 2014). Tais condições climáticas, como temperaturas diárias anuais acima de 18°C (ECHER, 2014), elevado fotoperíodo e baixa pluviosidade, aliada às características edáficas, proporciona elevada pressão de seleção das espécies mais adaptadas ao meio. Ainda, segundo Beltrão (2006), o algodoeiro apresenta elevada plasticidade fenotípica, garantindo a essa espécie o melhor ajuste às condições edafoclimáticas. Com relação ao metabolismo fotossintético do algodoeiro, este é do tipo C3, apresentando elevada taxa de fotorrespiração, ou seja, em ambientes estressantes tem-se uma maior desassimilação do CO<sub>2</sub> fixado pela fotossíntese, pois a enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase – responsável pela fixação do CO<sub>2</sub> – tem alta afinidade pelo O<sub>2</sub>, e em condições de elevada temperatura e luminosidade ela libera o CO<sub>2</sub> para o meio reduzindo a fotossíntese líquida.

Todavia, em cenários de mudanças climáticas globais aliadas com o incremento de CO<sub>2</sub> no meio, podem elevar a produtividade do algodoeiro, uma vez que a rubisco pode operar em um meio com maior disponibilidade de CO<sub>2</sub>, elevando a sua assimilação. Por outro lado, outras variáveis - como alteração nas condições climáticas e nos padrões de assimilação de nutrientes pelas plantas em cenários futuros - podem mitigar o ganho em produtividade do algodoeiro, fazendo-se necessário o estudo em tais condições, bem como a ecofisiologia desta espécie como resposta a tais eventos.

A temperatura é de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento do algodoeiro, fazendo-se necessário o monitoramento da fenologia da cultura com o auxílio da somatória dos graus-dia, uma vez que, em condições de elevada temperatura, o ciclo do algodoeiro é reduzido (REDDY et al., 1996), já em temperaturas menores que 20°C observa-se o aumento do tempo de embebição das sementes, resultando em um atraso na emissão da radícula em 40 horas somadas as 28 necessárias, totalizando 68 horas. Contudo, em temperaturas ótimas, tais eventos podem ocorrer em até 24 horas (ROSOLEM, 2001).

Além de afetar a emissão da radícula a temperatura em conjunto com a umidade do solo influencia significativamente o desenvolvimento do hipocótilo (ROSOLEM, 2001). Em condições ótimas de temperatura e umidade do solo, a emergência pode ocorrer em 4 a 10 dias após a semeadura. Todavia, sob estresse hídrico estas permanecem no solo em estado de quiescência, entrando em processo de germinação com as primeiras chuvas (BELTRÃO et al., 2011).

Segundo Beltrão et al. (2011), mesmo em condições ideais de umidade no solo, a temperatura exerce papel fundamental na emergência da plântula, onde, em temperaturas inferiores a 21°C ou superiores a 34°C, a plântula de algodão não irá emergir do solo, fazendo-se

necessário a utilização de sementes vigorosas que possibilitará a superação em condições de estresse moderado (ROSOLEM, 2001).

O desenvolvimento do algodoeiro é fortemente influenciado pelo seu local de origem, uma vez que, por ser originário de regiões propensas à seca, este apresenta maior alocação de fotoassimilados para o crescimento radicular em detrimento da parte aérea. Dessa forma, a planta garante maior capacidade de absorção de água e nutriente, favorecendo a manutenção da parte aérea.

Devido a tais características, o algodoeiro apresenta crescimento lento da parte aérea e um vigoroso crescimento do sistema radicular (ROSOLEM, 2001), onde que, dependendo da temperatura, a fase compreendida entre a emergência e a emissão do primeiro botão floral pode demorar de 27 a 38 dias (BAKER; LANDIVAR, 1991). Nessa fase, a sensibilidade à variação da temperatura pelas plântulas de algodão é menor nos primeiros 14 dias após a emergência (DAE), tornando-se sensível aos 21 DAE, exigindo temperaturas diurnas e noturnas de 30 e 22°C, respectivamente, para um ótimo crescimento (REDDY et al., 1992).

O estágio de desenvolvimento, que compreende a emissão do primeiro botão floral até a primeira flor, é fortemente influenciado pela temperatura do meio durando de 25 a 35 dias. Nesta etapa, tem-se o incremento em altura e em matéria seca da planta até atingir a fase de crescimento linear, onde a cada três dias em condições de temperatura média, variando de 22 a 25°C têm-se a produção de um ramo frutífero na haste principal (BAKER; LANDIVAR, 1991; HODGES et al., 1993). Em condições de estresse por altas temperaturas no início do estágio de desenvolvimento do algodoeiro, tem-se o decréscimo da área foliar, do acúmulo de matéria seca, além do aumento do número de ramos vegetativos em relação aos ramos reprodutivos (REDDY et al., 1991;

1992; 1995; HODGES et al., 1993), causando, conseqüentemente, redução na produtividade. Ainda em tais condições, tem-se o crescimento limitado das plantas de algodão devido, principalmente, à redução da taxa de fotossíntese líquida, que é definida pela quantidade de CO<sub>2</sub> assimilado pela área foliar subtraindo o carbono desassimilado pela respiração e fotorrespiração. Por outro lado, pode-se observar o encurtamento do desenvolvimento reprodutivo, podendo causar anomalias na frutificação do algodoeiro devido à baixa alocação de fotoassimilados para as estruturas reprodutivas (SNIDER; OOSTERHUIS, 2012).

O algodoeiro, mesmo evoluindo em condições de climas áridos, não expressa o seu máximo potencial produtivo em condições de temperaturas superiores a 32°C. Isso se deve à sua elevada sensibilidade no estágio de desenvolvimento das flores, onde se tem a inibição no desenvolvimento do pólen e fertilização (REDDY et al., 1996; OOSTERHUIS, 2002; BURKE et al., 2004; OOSTERHUIS; SNIDER, 2011; SNIDER; OOSTERHUIS, 2012). Tais condições resultam em queda da produtividade devido a limitações na quantidade de sementes produzidas, lembrando-se que estas são primordiais por influenciarem a produção de fibras (PETTIGREW, 2008). Outra característica de grande importância relacionada à elevação da temperatura é a retenção dos frutos, pode-se observar que o incremento no número de flores é linear com o aumento da temperatura até 40/32°C, contudo, tem-se a elevação na porcentagem de abscisão das flores podendo chegar a 100%, e conseqüentemente redução no número de maçãs.

A importância da qualidade intrínseca da fibra do algodoeiro possui importância fundamental no sucesso da cotonicultura. Desse modo, faz-se necessário o conhecimento de fatores que interferem na qualidade da fibra. A fibra do algodão é predominantemente constituída

por celulose (90%), desse modo, todas as variáveis que interferem na síntese e na disponibilidade de carboidratos podem interferir na sua qualidade final. Fatores climáticos, como a temperatura, podem afetar a disponibilidade dos fotoassimilados alocados para a produção das fibras por meio da inibição da fotossíntese, onde a potencialização deste efeito está diretamente associada à época e à intensidade do estresse.

Outra característica importante relacionada à qualidade da fibra é o seu comprimento, sendo que a fase crítica (alongação da fibra) encontra-se entre 25 e 40% do período total de formação do fruto. Já para as características de resistência e de micronaire, a fase crítica encontra-se no período de formação das paredes secundárias da fibra entre 25 a 75% do período total de formação do fruto (YEATES et al., 2010).

A quantidade e a qualidade de luz são fatores fundamentais na eficiência fotossintética das plantas, uma vez que a fotossíntese é responsável pela transformação de energia luminosa em energia química na forma de carboidratos. O algodoeiro, por se tratar de uma espécie que apresenta ângulo de inserção das folhas do tipo planófitas ( $\alpha < 30^\circ$ ), ou seja, folhas mais horizontalizadas, tem a distribuição da irradiação ao longo do dossel de forma menos homogênea, com maior interceptação da luminosidade nas folhas superiores.

Tal condição favorece o autosombreamento, reduzindo a radiação fotossinteticamente ativa ao longo do dossel e, conseqüentemente, nas folhas na parte inferior da copa, que aliado ao adensamento de plantio pode causar sombreamento elevado do algodoeiro, culminando em redução no tamanho de capulho, índice de sementes e fibra e número de sementes por capulho, além de causar a redução na retenção de frutos (GUINN, 1974; FOWLER; RAY, 1977; ECHER et al., 2011).

A baixa luminosidade na fase de florescimento proporciona rápido aumento da taxa de abscisão de maçãs quando comparado à queda

dos botões florais, pois, segundo Echer (2014), imediatamente após o estresse luminoso, observou-se o início do abortamento das maçãs jovens. Por outro lado, os botões florais iniciaram o seu abortamento aos 3-4 dias após a remoção do estresse. Ainda, para Echer (2014), o algodoeiro apresenta duas fases críticas ao estresse luminoso para as estruturas reprodutivas, sendo a primeira logo após o início da emissão do botão floral e a segunda fase em seguida à antese, na qual as maçãs pequenas são susceptíveis ao abortamento, reduzindo a susceptibilidade com o início da abertura da flor e por volta de 14 dias após a abertura floral, respectivamente.

Quanto à qualidade da fibra, o sombreamento não impactou significativamente sob esta variável, sendo observado em condições de sombreamento, na fase de florescimento, a redução no índice micronaire (fibra mais fina) sem perda na resistência, contudo, sem efeito em comprimento de fibra (SEVERINO, 2005; ECHER, 2014).

Em condições edafoclimáticas ótimas, o ciclo do algodoeiro dura em média 160 dias após a sementeira. Neste período tem-se o envolvimento de vários eventos que ocorrem simultaneamente, garantindo a produtividade final. Dentre os eventos tem-se: o crescimento vegetativo; aparecimento das gemas reprodutivas; florescimento, crescimento e maturação de frutos.

Dentre os fatores climáticos envolvidos no crescimento e desenvolvimento da cultura do algodão, podemos destacar a disponibilidade hídrica e a temperatura por apresentarem-se essenciais desde o processo de germinação até a maturação do fruto. A disponibilidade hídrica no momento da sementeira deve ser o suficiente para que ocorra a embebição da semente, sendo que o seu excesso poderá ocasionar limitação de oxigênio disponível no solo, culminando no atraso da germinação. Além da disponibilidade de água no solo, vale lembrar

que a temperatura tem papel fundamental neste período regulando a velocidade de absorção da água pelas sementes, podendo levar aproximadamente 48 horas para a emissão da radícula.

Imediatamente após a emergência da plântula inicia-se a transpiração, fazendo-se necessária a absorção de água pelas radículas de modo a suprir tais perdas. O estágio vegetativo abrange o período compreendido entre a emergência a emissão da primeira flor. Ao final deste, o sistema radicular do algodoeiro encontra-se com, aproximadamente, 80% do seu total desenvolvimento, evidenciando a rápida expansão que pode chegar a 2,5 cm/dia durante várias semanas (ECHER, 2014). Todavia, o pleno desenvolvimento do sistema radicular é inibido pelo excesso de água no solo, compactação e altas temperaturas, fazendo-se necessário respeitar a janela de plantio, além de realizar um eficiente preparo do solo, de modo a mitigar os danos à cultura.

O estresse hídrico durante a produção dos botões florais, ou seja, antes do florescimento, é extremamente prejudicial, devido à necessidade do algodoeiro em formar um dossel capaz de garantir produção de fotoassimilados suficientes para a manutenção dos botões florais e, conseqüentemente, garantir maiores produtividades (ECHER, 2014). A exigência de água nesta etapa de desenvolvimento do algodoeiro passa de menos de 1 mm de água por dia para 4 mm por dia, cessando o crescimento em caso de estresse hídrico (ROSOLEM, 2001).

O estágio de desenvolvimento compreendido entre a primeira flor e o primeiro capulho apresenta elevada atividade metabólica, exigindo grandes quantidades de água que passa de 4 mm a mais de 8 mm por dia, de modo a garantir uma eficiente partição de biomassa para órgãos vegetativos e reprodutivos (ROSOLEM, 2001; ECHER, 2014). Nesta etapa, quando a demanda de fotoassimilados supera a capacidade de fornecimento pelo dossel, tem-se o fenômeno chamando de cut-out que é a paralização do crescimento vegetativo e o abortamento de flores,

além de maçãs e botões jovens, na ausência de estresse. Por outro lado, devido a menor taxa fotossintética em virtude do estresse hídrico, tem-se a redução da alocação de carboidratos para as estruturas reprodutivas desencadeando o processo de abortamento (ECHER, 2014). Segundo Echer (2014) o abortamento de estruturas de frutificação e a sensibilidade ao abortamento dos botões florais diminuem por volta dos 14 dias após a antese e aos 21 dias após a emissão do primeiro botão floral visível, respectivamente.

Como estratégia de sobrevivência, a planta de algodão no estágio compreendido entre o cut-out à maturação responderá ao estresse hídrico por meio do abortamento de frutos pequenos, favorecendo o desenvolvimento da semente e fibras em frutos mais velhos. Caso tenha a persistência do estresse e não houver mais frutos pequenos a serem abortados, o crescimento do capulho será reduzido, bem como o espessamento da fibra produzindo, conseqüentemente, fibras imaturas, comprometendo a produtividade e a qualidade da fibra.

A temperatura é o fator mais perceptível quando se fala em mudanças climáticas globais. No entanto, existem outros fatores de grande importância que podem alterar, completamente, o crescimento e o desenvolvimento de plantas como o algodão, sendo eles: concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, bem como o padrão de precipitação.

Em tempos remotos (períodos glaciais) até a Revolução Industrial (1760 – 1840), a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera apresentou um incremento em 100 partes por milhão (ppm), variando de 180 para 280 ppm, respectivamente. Já em 2016, estes valores alcançaram 403,3 ppm, e segundo alguns cenários propostos pela IPCC (2014) a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico pode atingir 550 ppm em 2050.

No que tange a temperatura média global, relatórios estimam-se para o ano de 2050 um aumento de 1,3 a 1,8°C. Já em cenários para

2100 o aumento previsto é de 1,4°C e no pior cenário 5,8°C. Diante de tal cenário de mudanças climáticas, o aumento da temperatura quando não associado ao incremento do nível de CO<sub>2</sub> na atmosfera, a produção agrícola cairia em 37% dentro de 80 anos. O aumento da temperatura de 1 a 2°C já proporcionaria uma redução na produtividade do algodoeiro nas regiões tropicais, mesmo em cenários de aumento na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. Todavia, em regiões de clima temperado, espera-se um aumento na produtividade com a associação entre incremento de CO<sub>2</sub> e temperatura.

Em se tratando de precipitação pluviométrica em cenários de climáticas globais, esta é uma variável extremamente complexa devido a sua forte ligação regional e não global. Em termos absolutos, com o aumento da temperatura, tem-se o aumento da evaporação e consequentemente maior ciclagem da água. Logo, o problema não é o aumento da precipitação e, sim, a sua distribuição, ocorrendo chuvas mais torrenciais em curto período e secas mais prolongadas. Em cenários de mudanças climáticas, Gérardaux et al. (2013) relataram incremento na produtividade do algodoeiro em 1,3 kg ha<sup>-1</sup> durante 2005 – 2050. Observa-se, também, o encurtamento do ciclo fenológico da planta de algodão devido à elevação da temperatura.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O panorama elucidado sobre a ecofisiologia do algodoeiro e os efeitos fisiológicos decorrentes dos fatores temperatura, luminosidade e água são diversificados em função da resposta da cultura ao meio em que está inserida. A alteração das condições climáticas pode ter incremento na produtividade decorrente do aumento da temperatura e da disponibilidade de CO<sub>2</sub>, além de proporcionar encurtamento do ciclo da cultura.

## REFERÊNCIAS

- BAKER, D. N.; LANDIVAR, J. A. Simulation of plant development in GOSSYPIMUM. In: HODGES, H. F. (ed.). **Cotton Physiology**. Memphis: The Cotton Foundation, 1991, p. 245–257.
- BELTRAO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P.; BRITO, G. G.; CARDOSO, G. D. Ecofisiologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.). In: BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de. (Ed.). **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, p. 322.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária/Companhia Nacional de Abastecimento – v.1** – Brasília: Conab, 2017, p. 111.
- ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A.; WERLE, R. Distribuição da produção do algodoeiro em função da luminosidade. In: 8º Congresso Brasileiro de Algodão & I Cotton Expo 2011, São Paulo. **Anais**. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2011, p. 521–27.
- ECHER, F. R. **O algodoeiro e os estresses abióticos**: Temperatura, luz, água e nutrientes. Net, Cuiabá (MT), 2014. Instituto Mato-Grossense do Algodão – IMAmt. Disponível em: <<http://www.ampa.com.br/arquivos/publicacoes/08092014123920.pdf>>. Acesso em: 20 Jan. 2018.
- FOWLER, J. L.; RAY, L. L. Response of two cotton genotypes to five equidistant spacing patterns. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, n. 5, 1977, p. 733–738.
- GÉRARDEAUX, E.; SULTAN, B.; PALAÏ, O.; GUIZIOU, C.; OETTLI, P.; NAUDIN, K. Positive effect of climate change on cotton in 2050 by CO<sub>2</sub> enrichment and conservation agriculture in Cameroon. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 3, p. 485–495, 2013.
- GUINN, G. Abscission of cotton floral buds and bolls as influenced by factors affecting photosynthesis and respiration. **Crop Science**, v. 14, n. 2, 1974, p. 291–293.
- HODGES, H.F.; REDDY, K.R.; MCKINION, J.M.; REDDY, V.R. **Temperature effects on cotton**. Memphis: Mississippi State University, 1993. (Bull. 990, Mississippi Agric. Exp. Sta.)
- IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.
- OOSTERHUIS, D. M. **Growth and development of the cotton plant**. In: MILEY, W. N.;

\_\_\_\_\_. (eds) Nitrogen Nutrition in Cotton: Practical Issues. Proc. **Southern Branch Workshop for Practicing Agronomists**. Publ. Amer. Soc. Agron., Madison, WI. 1990.

OOSTERHUIS, D. M. **Day or night high temperature**: A major cause of yield variability. *Cotton Grower*, EUA, v, 46, 2002, p. 8–9.

OOSTERHUIS, D. M. SNIDER, J. L. High temperature stress on floral development and yield of cotton. In OOSTERHUIS, D. M. (ed.) **Stress physiology in cotton**. Cordova, Tennessee: The Cotton Foundation, 2011, p. 1–24.

PETTIGREW, W. T. The effect of higher temperatures on cotton lint yield production and fiber quality. **Crop Science**, v. 48, 2008, p. 278–285.

REDDY, V. R.; BAKER, D. N.; HODGES, H. F. Temperature effect on cotton canopy growth, photosynthesis and respiration. **Agronomy Journal**, v. 83, 1991, p. 699–704.

REDDY, K. R.; HODGES, H. F.; REDDY, V. R. Temperature effects on cotton fruit retention. **Agronomy Journal**, v.84, 1992, p. 26–30.

REDDY, K. R.; HODGES, H. F.; MCKINION, J. M. Carbon dioxide and temperature effects on pima cotton development. **Agronomy Journal**, v. 87, 1995, p. 820–826.

REDDY, V. R.; HODGES, H. F.; MCCARTY, W. H.; MCKINNON, J. M. **Weather and cotton growth: Present and Future**. Mississippi Agr. & Forestry Exp. Sta., Mississippi State University, Starkville, MS. 1996.

ROSOLEM, C. A. **Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro**. In: Informações agrônômicas 9. 2001, Piracicaba-BA, Potafós, 2001, p. 9.

SEVERINO, L. S. **A influência do adensamento sobre a produtividade e a qualidade da fibra**. In: Palestra para o V Congresso Brasileiro de Algodão, Salvador, agosto de 2005.

SNIDER, J. L.; OOSTERHUIS, D. M. Heat stress and pollen-pistil interactions. In: OOSTERHUIS, D. M.; COTHREN, J. T. (Eds.) **Flowering and Fruiting in Cotton**. Memphis: 2012, p. 245.

VIDAL NETO, F. C.; FREIRE, E. C. Melhoria genética do algodoeiro. In: Vidal Neto, F. das C.; Cavalcanti, J. J. V. (Ed.). **Melhoramento genético de plantas no Nordeste**. Brasília, DF: Embrapa, 2013, p. 28.

YEATES, S. J.; CONSTABLE, G. A.; MCCUMSTIE, T. Irrigated cotton in the tropical dry season. I: Yield, its components and crop development. **Field Crops Research**, v. 116, n. 3, 2010, p. 278–289.

WENDEL, J. F.; BRUBAKER, C. L.; SEELANAN, T. The origin and evolution of *Gossypium*. In: STEWART, J.; OOSTERHUIS, D.; HEITHOLT, J. J.; MAUNEY, J. (Ed.). **Physiology of cotton**. New York. 2010, p. 563.

## **4 ECOFISIOLOGIA DE HORTALIÇAS**

Eduardo José de Almeida

João Paulo Tadeu Dias

A horticultura refere-se ao ramo da fitotecnia referente às plantas cultivadas de modo intensivo, e usadas como alimento para fins comerciais e satisfação estética (FILGUEIRA, 2008). Genericamente, alguns vegetais são relacionados como hortaliças, tais como folhosas (popularmente denominadas verduras), frutos (como alguns legumes), pseudofrutos, tubérculos, raízes, dentre outras plantas cultivadas tradicionalmente em hortos, jardins ou quintais. Dentre as principais hortaliças, cultivadas e consumidas pelos brasileiros, estão: batata (*Solanum tuberosum* L.), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), alface (*Lactuca sativa* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), cebola (*Allium cepa* L.) e alho (*Allium sativum* L.).

As hortaliças são amplamente cultivadas e são alimentos de grande valor para a humanidade. Os sistemas de produção de hortaliças são abertos e altamente complexos, sendo afetados por fatores como clima, solo e sistemas de produção, além da interação entre todos esses fatores, especialmente os abióticos, tais como luz, água e temperatura. A fisiologia ambiental ou ecofisiologia - segundo Restrepo-Díaz, Melgar e Lombardini (2010) – permite caracterizar as inter-relações entre os fatores de estresse ambiental e a resposta dos cultivos, como as hortaliças, buscando um sucesso na produção. Fatores de estresse ambiental podem causar diferentes mudanças bioquímicas, fisiológicas e morfológicas nas plantas, refletindo em redução considerável do rendimento das culturas. A compreensão da interação dos fatores ambientais e a relação com processos fisiológicos são importantes para o desenvolvimento e melhora das práticas culturais de hortaliças, como rega, manejo de luz, nutrição mineral, escolha da infraestrutura, com objetivo de otimizar a fotossíntese e incrementar a produtividade dos cultivos.

A horticultura pode contribuir para a segurança alimentar, nutricional e adaptação (ajustes ecológicos, sociais e econômicos) em resposta a estímulos climáticos reais e esperados em seus efeitos e impactos, além de mitigar dos impactos de catástrofes climáticas a caminho do desenvolvimento sustentável (SAHU, 2016).

O entendimento dos fatores climáticos ou agroclimáticos que afetam a produção de hortaliças é imprescindível para quem pretende se dedicar ao estudo aprofundado ou mesmo à prática das culturas de forma comercial com bases técnico-científicas.

Filgueira (2008) destacou a influência da temperatura, termoperiodicidade estacional (variação de temperatura durante estações) e termoperiodicidade diária (variação durante o dia), influência da luz (intensidade e fotoperíodo), importância da umidade,

suposta influência lunar (considerada por muitos agricultores tradicionais e agroecológicos) e agrotecnologia no controle climático (sobretudo o uso de estufas, ambientes climatizados e práticas culturais ou sistemas de produção que favoreçam o cultivo). Alguns aspectos devem ser observados:

a) Indubitavelmente, a temperatura é o fator climático que exerce maior influência na horticultura, frequentemente, o principal fator limitante da atividade;

b) A variação termoclimática entre o dia e a noite é importante para algumas solanáceas. Algumas plantas desenvolvem e produzem melhor quando a temperatura noturna é inferior a diurna, numa diferença de 5 a 10°C;

c) Possibilidade de enquadrar hortaliças em três grupos: c.1) Hortaliças de clima quente (maioria das cucurbitáceas, taioba, cará, chuchu, coentro, feijões, pimenta, jiló, batata-doce e quiabo); c.2) Hortaliças de clima ameno (tomate, cenoura, rúcula, salsa, batata, alface e moranga híbrida) e; c.3) Hortaliças de clima frio (alho, beterraba, mandioquinha, repolho, morango, alcachofra e couves, dentre outras);

d) Termoperiodicidade estacional em plantas bienais como brássicas (couve-de-folha, couve-flor, couve-brócolos, repolho), cebola e beterraba. Tais plantas necessitam de temperatura fria para passar da etapa vegetativa para a reprodutiva, com emissão do pendão floral e, posteriormente, produzir sementes;

e) Experimentalmente, comprova-se que o aumento da intensidade luminosa resulta na elevação da atividade fotossintética e maior produção de matéria seca. No entanto, a deficiência provoca alongamento celular, estiolamento e aumento da altura e extensão da parte aérea;

f) A formação de flores depende do fotoperíodo. Cultivares europeias e norte americanas de alface pendoam precocemente quando cultivadas

nos dias longos do verão brasileiro. Entretanto, cucurbitáceas produzem maior número de flores femininas e, conseqüentemente, produtividade maior em dias curtos do inverno;

g) O regime pluviométrico afeta a produção de hortaliças. Contudo, espécies menos exigentes ou com raízes mais profundas podem ser cultivadas sem irrigação, como a aboboreira, o chuchu, o aspargueiro, o quiabeiro, dentre outras;

h) Há supostas influências lunares no desenvolvimento do bulbo de cebola, corte de madeira e poda de frutíferas. Entretanto, devem ser levantados dados adicionais de pesquisa no cultivo de hortaliças;

i) Alguns artificios agrotecnológicos no cultivo de hortaliças possibilitam o melhor controle de condições climáticas como uso de cobertura com palha (capim seco, palha de arroz, maravalha de madeira, bagaço de cana), formação de microclima para cultivo (sobretudo, pelo uso de irrigação), controle de geada pela irrigação por aspersão (tomate, berinjela, batata, morango, pimenta, pepino e morango), adoção da plasticultura no cultivo protegido (estufas, túneis e cobertura do solo).

O conhecimento das interações entre fatores ambientais e fisiologia vegetal facilita a identificação de ambientes adequados ao cultivo ou risco de cultivo em local impróprio, tais como falta de luz, temperaturas elevadas e falta d'água. Restrepo-Díaz, Melgar e Lombardini (2010) relataram que o sombreamento (Quadro 1) de culturas hortícolas pode reduzir a fotossíntese, transpiração e densidade e condutância estomática, além de favorecer o aborto de flores. Do mesmo modo, altas temperaturas podem afetar a viabilidade e germinação do pólen, número de flores e número de frutos por planta.

**Quadro 1.** Alguns efeitos fisiológicos do sombreamento em algumas plantas hortícolas.

<b>Cultura</b>	<b>Resposta fisiológica</b>
Melão ( <i>Cucumis melo</i> )	Redução da taxa fotossintética, peso fresco e firmeza da polpa. Baixa acumulação de sacarose. Aceleração da formação do sintoma de “encharcamento” da polpa.
Pimenta ( <i>Capsicum annum</i> )	Aumento do aborto de flor e, assim, redução do rendimento.
Couve-flor ( <i>Brassica oleracea</i> )	Diminuição do crescimento e o desenvolvimento com o aumento dos níveis de sombra.
Cenoura ( <i>Daucus carota</i> )	Redução da taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e eficiência do uso da água.
Alface ( <i>Lactuca sativa</i> )	Diminuição da espessura da folha e matéria seca da folha.

**Fonte:** Adaptado de Restrepo-Díaz, Melgar e Lombardini (2010).

As principais peculiaridades relacionadas ao sistema de produção das principais hortaliças, em especial da família solanaceae, como a batata e o tomate, deve relacionar os componentes dos sistemas de produção (MELO et al., 2017), dentre eles, a ecofisiologia, manejo e fertilidade do solo, conservação do solo e água, além do manejo fitossanitário, todos relacionados de forma holística.

A batata é um dos cinco produtos agrícolas hortícolas e alimentícios de maior consumo no mundo. Rodríguez-Pérez (2010) abordou aspectos ecofisiológicos da cultura dicotiledônea, pertencente à família das solanáceas e que produz em regiões de latitudes entre 47°S e 65°N. Segundo esse mesmo autor, 50% da área mundial cultivada com batata está localizado acima dos 1.000 m, sendo regiões ótimas entre 2.500 e 3.000 m de altitude. A radiação acima de 1.200  $\mu$ moles

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  é positiva para matéria seca dos tubérculos. O fotoperíodo curto de cerca de 10 horas de luz acelera o início da tuberização na maioria das variedades. O cultivo de batatas se adapta a climas frios tropicais, com temperaturas médias de 15 e 18°C. A utilização de recursos hídricos e minerais do solo, além de recursos da atmosfera, como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  e radiação fotossinteticamente ativa, são fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento da batateira.

Rodríguez-Pérez (2010) englobou alguns aspectos fisiológicos e ambientais que devem ser levados em consideração com relação à batateira:

a) A batateira apresenta via fotossintética do ciclo  $\text{C}_3$  (ciclo de Calvin/Benson), desenvolvendo folhagem de grande duração que favorece a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, alcançando um índice de área foliar próximo a três (3), valor requerido para interceptar de 90 a 95% da radiação;

b) Radiação, temperatura, água e nutrientes influem diretamente na fotossíntese. A luz influencia na abertura dos estômatos e, conseqüentemente, na absorção e fixação de  $\text{CO}_2$ . A temperatura ótima para alta captação de  $\text{CO}_2$  é próxima a 24°C. Nutrição deficiente pode influenciar as taxas fotossintéticas de maneira negativa;

c) O fluxo de carbono no floema da batateira se divide em: c.1) Fixação e redução do carbono, que ocorre no mesófilo das folhas; c.2) Assimilação e partição do carbono fixado entre açúcares e amido. Se for transformado em sacarose, este carboidrato estará disponível para a rápida exportação para possíveis drenos; no entanto, se formar amido pode ficar acumulado ou ainda, remobilizado durante a noite. c.3) Carga floemática de sacarose por processo ativo; c.4) Translocação a longas distâncias de fotoassimilados a longa distância por fluxo de massa; c.5) Descarga e utilização de fotoassimilados por tecidos e

órgãos de demanda da planta, principalmente, tubérculos, flores e frutos. Geralmente, o fluxo de carbono é determinado pelo gradiente de sacarose entre a fonte foliar e a demanda, que determina a direção e a extensão do movimento de sacarose.

d) Quando as batatas estão em início de tuberização, muitos assimilados são utilizados para desenvolvimento de órgão vegetativos diferentes dos tubérculos. Depois de sete dias de iniciada a tuberização, de 5 a 20% de fotoassimilados são translocados aos tubérculos. Depois da terceira semana de tuberização, os fotoassimilados são translocados principalmente aos tubérculos. Ao final do ciclo biológico, 95% da matéria seca é translocada e se acumula nos tubérculos;

e) Os principais órgãos de demanda, ou seja, drenos preferenciais são os tubérculos;

Distúrbios fisiológicos podem ocorrer devido a estresse ambiental como rachaduras em tubérculos (Figura 1), embonecamento (Figura 2), coração oco (tubérculo com uma ou mais cavidades de diferentes tamanhos no seu interior provocado por desequilíbrio hídrico ou a deficiência de potássio), coração preto (manchas irregular cinzenta ou preta, na região central do tubérculo provocado por arejamento inadequado ou respiração por calor), unhadura (pequenas fendas por desequilíbrio hídrico ou pancadas na tuberização), lenticelose (crescimento exagerado das lenticelas em ambiente encharcado), esverdeamento (tubérculos expostos à luz), esfoladura (colheita precoce e esfolamento dos tubérculos) e mancha-chocolate (períodos quentes e secos provocam manchas pardo-avermelhadas na polpa do tubérculo).

**Figura 1:** Rachadura causado por fatores que favorecem o crescimento rápido do tubérculo, como chuva ou irrigação pesada após período muito quente e seco e adubação nitrogenada desbalanceada.



**Fonte:** João Paulo T. Dias, Maria da Fé-MG, maio de 2016.

**Figura 2:** Embonecamento causado por crescimento desuniforme após estresse (geada, granizo, baixa umidade do solo, temperatura elevada do solo e desequilíbrio nutricional).



**Fonte:** Embonecamento causado por crescimento desuniforme após estresse (geada, granizo, baixa umidade do solo, temperatura elevada do solo e desequilíbrio nutricional).

Outra importante hortaliça é a mandioca, uma raiz tuberosa que El-Sharkawy (2012) descreveu como sendo dotada de capacidade de fotossíntese elevada expressa em ambientes quase ótimos que se correlacionam com a produtividade biológica e ampla gama de germoplasma. As taxas fotossintéticas medidas a campo também foram associadas ao rendimento das raízes, em particular sob a seca prolongada. A umidade e a escassez de água do solo estão subjacentes à tolerância à seca. A enzima de carboxilação fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase) da via fotossintética  $C_4$  foi associada à fotossíntese e ao rendimento, tornando-se uma característica selecionável, juntamente com a duração da folha, particularmente por ambientes estressantes.

El-Sharkawy (2012) identificou alguns germoplasmas de mandioca quanto à tolerância aos solos baixos em fósforo (P) e potássio (K). A mandioca tem uma vantagem comparativa contra grandes culturas tropicais de alimentos e energia em termos de produtividade biológica. No cenário do aquecimento mundial, prevê-se que a cultura desempenhe um papel nos agroecossistemas tropicais e subtropicais. Mais pesquisas são necessárias em condições de campo tropical para entender as respostas interativas ao dióxido de carbono elevado, temperatura, fertilidade do solo e relações de água da planta, visto que tais fatores ambientais (ecofisiológicos) desempenham importante papel no crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura.

Das hortaliças folhosas, a alface se destaca no cultivo, aceitação e comercialização nos diferentes mercados consumidores. *Rajabbeigi et al.* (2013) revelaram que a resposta das plantas aos diferentes tipos de estresse, como a radiação ultravioleta (UV) ou seca, depende da espécie, cultivar, órgão da planta, estágio de desenvolvimento e, além disso, é influenciado por interações ecofisiológicas. O estresse por seca, bem como a radiação UV são os fatores mais adversos para o crescimento

e produtividade das plantas de alface. O efeito interativo do UV-B e o estresse da seca na biomassa, metabolitos primários e secundários, e atividade enzimática mediada pela fenilalanina amônia-lyase (PAL) foram investigados e verificou-se que a produção de biomassa diminuiu em resposta a ambos os estressores. O conteúdo de quercetina (um potente antioxidante e protetor de células) não foi afetado. Entretanto, antocianinas e luteolina (substâncias com ação antioxidantes) foram acumuladas apenas em resposta à seca. Também, o aminoácido prolina, bem como a atividade de PAL, aumentou em condições de aumento de UV-B e déficit de água. Assim, ambos os estressores agiram de forma sinérgica ou, em certa medida, antagonista em termos de induzir mecanismos de proteção de plantas.

A ecofisiologia em olerícolas tem uma acentuada importância em função dos diferentes ambientes onde podem ser cultivadas como cultivo a “céu aberto” ou cultivo protegido, em diferentes tipos de solos ou cultivo hidropônico (e suas variações), diferentes latitudes do globo terrestre e tudo isso em interação com grande variação de genótipos que podem ter sido desenvolvidos ou não para adaptação a determinada localidade. E como em geral esse grupo de plantas cultivadas tem ciclo curto, podem ser cultivadas em diferentes épocas do ano reagindo de forma diferente à variação do clima.

De acordo com Alvarenga (2004), o tomateiro (*Solanum Lycopersicum* L.) é uma espécie de larga adaptação climática, embora seja de origem de região com temperaturas moderadas (região andina) cujos fatores que mais influenciam sua ecofisiologia são a temperatura (ar e solo), umidade do solo e atmosférica e o fotoperíodo. Para germinação a faixa média de temperatura situa-se entre 15 e 25°C. A germinação fica suprimida em condições de temperatura abaixo de 8°C e acima de 40°C. Para o desenvolvimento do tomateiro, a melhor resposta está na faixa de 10 a 34°C.

Fisiologicamente, os tomateiros submetidos à temperatura abaixo de 10°C, por prolongado período, apresentarão redução na taxa de crescimento, amarelecimento das folhas, acúmulo de antocianinas (hastes roxas e quebradiças), baixa fecundação e abortamento de flores e frutos. Por outro lado, acima de 35°C aparecem os problemas de redução no desenvolvimento vegetativo ou morte prematura, queda de flores e frutos, clorose das folhas, redução da polinização (aparecimento de frutos pequenos e sem sementes) (ALVARENGA et al., 2004).

O tomateiro é considerado planta indiferente ao fotoperíodo desde que tenha entre 9 e 15 horas de luz. O excesso de chuva reduz o teor de sólidos solúveis dos frutos e predispõe a planta a doenças fúngicas (SILVA; GIORDANO, 2000).

Outro importante fator ambiental a ser considerado na ecofisiologia do tomateiro é a radiação solar. Segundo Stefanel (1998), a produtividade das culturas protegidas é determinada, principalmente, pela disponibilidade de energia solar. Quando o fluxo radiativo é suficientemente alto, o desenvolvimento vegetal ocorre normalmente, já se o fluxo radiativo for baixo a planta não terá condições mínimas de captar a energia necessária para terminar o ciclo. O limite trófico para cultivo de tomate em ambiente protegido é em torno de 200 cal/cm<sup>2</sup> dia. Segundo a FAO (1990), o ponto de saturação fótico, que estabelece o nível limite de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) até o qual ocorre aumento da assimilação de CO<sub>2</sub>, também deve ser observado com 700 e 1.500 μmol s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>; níveis de RFA abaixo desse limite podem restringir a fotossíntese e, acima, podem promover o aumento excessivo da temperatura da planta, com reflexos negativos sobre a taxa transpiratória e fotossintética.

De acordo com Adrilo et al. (1997) citado por Stefanel et al. (1998), a baixa atividade radiativa vem acompanhada de baixas

temperaturas que, em conjunto esses elementos meteorológicos, são responsáveis por distúrbios ou doenças fisiológicas como problemas na polinização e reduzido tamanho dos frutos.

Estefanel et al. (1998) avaliaram a probabilidade da região de Santa Maria, RS ter dias com valores de radiação solar global inferiores ao limite trófico de tomateiro. Esses autores concluíram que a implantação do tomateiro e o manejo em estufa devem ocorrer de modo a evitar que os períodos reprodutivos coincidam com os meses de maio, junho e julho. Sabe-se que em latitudes acima de Santa Maria são mais propícias no fornecimento de radiação suficiente ao desenvolvimento do tomateiro, e as regiões abaixo são cada vez menos propícias.

Por outro lado, em regiões de menor latitude o problema é a redução da temperatura que deve ser feito de vários modos. Um deles é o uso de telas refletoras da radiação solar. Ferrari e Leal (2015) estudaram os microclimas entre um ambiente protegido coberto somente com polietileno de baixa densidade, PEBD, reforçado e outro coberto com PEBD reforçado, associado a uma tela termorefletora aluminizada retrátil, sob condições de manejo baseadas no horário e na condição atmosférica, e avaliar a adequação às condições climáticas recomendadas à cultura do tomateiro. Concluíram que uma tela de PEBD sem e com uso apresentaram uma transmitância de cerca de 75% aos comprimentos de onda de 400 a 1.000 nm. Já tela termo refletora apresentou transmitância de radiação acima de 40% aos mesmos comprimentos de onda. Já para reflectância, a tela termorefletora foi de cerca de 35% sem uso; com uso cerca de 15%. A reflectância do PEBD foi cerca de 20%. A temperatura máxima dentro da estufa de PEBD foi maior que sob a tela termorefletora (38 e 33,9°C, respectivamente); enquanto que a temperatura mínima foi semelhante (16°C).

A barreira física interposta entre o dossel da cultura e a atmosfera, normalmente feita com PEBD, ocasiona alteração do microclima dos ambientes protegidos, condicionada às propriedades físicas dos materiais de fechamento da estrutura, condições de renovação do ar, forma, dimensões e orientação do ambiente, cobertura vegetal, clima local, possibilidades de evaporação do solo e condensação no filme plástico da cobertura (CASTILLA, 2005).

A cobertura do solo com filme de polietileno também é uma prática que tem influenciado muito na produção de tomate, sobretudo em regiões de alta latitude. Esse incremento vem sendo atribuído a mudanças na temperatura do solo e do ar abaixo da cobertura do plástico, balanço de água no solo e nutrientes disponíveis comparados a solos não cobertos (STRECH et al., 1995). Contudo, em regiões onde não há deficiência de temperatura ou radiação solar, esses benefícios não são tão visíveis, exceto a manutenção de água no solo.

Vários tipos de filmes de polietileno podem ser usados, como transparente, branco, preto e face branca e preto, cuja finalidade e eficiência dependerá do local de uso. O filme transparente, devido sua capacidade de concentrar energia, irá aumentar a temperatura em regiões ou época de baixa incidência solar ou irá promover desinfestação do solo em regiões ou época de grande fluxo de energia solar. Por isso os usos desses materiais devem ser precedidos de testes locais prévios para averiguar sua efetividade no incremento de produção e na qualidade dos tomateiros.

Outra importante hortaliça, a cebola é uma espécie cujo centro de origem está na Ásia Central, e centros secundários situam-se na Ásia Menor e Mediterrâneo. A adaptação de cultivares é condicionada por fatores ambientais, notadamente fotoperíodo e temperatura. A cebola é uma planta de dias longos que variam de intensidade de acordo com

o genótipo utilizado. Quando as condições climáticas não satisfazem às exigências do cultivar, podem ocorrer a não-bulbificação, a formação de “charuto”, a emissão precoce de pendão floral e a formação de pequenos bulbos (LISBÃO et al., 1985).

Por ser um vegetal que se mantém vivo, mas em dormência depois do período de colheita, a cebola reduz intensamente a taxa respiratória nessa fase. E a condição de dormência é mantida em temperaturas muito baixas (0°C) ou muito altas (25 a 30°C).

Manfron (1992) se referiu às maiores perdas de peso dos bulbos com déficit hídrico coincidindo com as fases de formação e crescimento dos bulbos devido à perda de área fotossintética. No entanto, a redução de tamanho dos bulbos tende a concentrar pungência devido ao acúmulo de aminoácidos sulfurados (precursores de substâncias responsáveis pela pungência). Reduzidos teores de água no solo no período de maturação e colheita são desejáveis para a maior qualidade e conservação dos bulbos.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Morfológicamente e fisiologicamente, as hortaliças como batateira, mandioca, alface, tomateiro, cebola e alho são afetadas por fatores ambientais (altitude, latitude, temperatura, duração do dia, intensidade luminosa, umidade e fertilidade do solo).

Investigações adicionais do comportamento fisiológico, frente ao efeito das condições ambientais, devem ser feitas e estudadas, sobretudo no que tange ao crescimento, desenvolvimento e rendimento das culturas.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. A. R. Tomate: **Produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004, p. 400.
- CASTILLA, N. **Invernaderos de plástico: tecnología y manejo**. Madrid: Mundi-Prensa, 2005, p. 462.
- EL-SHARKAWY, M. A. **Stress-Tolerant Cassava: The Role of Integrative Ecophysiology-Breeding Research in Crop Improvement**. Open Journal of Soil Science, v. 2, 2012, , p. 162–186.
- ESTEFANEL, V.; BURIO, G. A.; ANDRIOLO, J. L.; LIMA, C. P.; LUZZI, N. Disponibilidade de radiação solar nos meses de inverno para o cultivo do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) na região de Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 28, n. 4, 1998, p. 553–559.
- FAO. **Protected cultivation in the mediterranean climate**. Roma: FAO, 1990, p. 553–559.
- FERRARI, D. L.; LEAL, P. A. M. **Uso de tela termorrefletora em ambientes protegidos para cultivo do tomateiro**. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 35, n. 2, 2015, p. 180–191.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. rev. ampl. Viçosa: UFV, 2008, p. 421.
- GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C. Clima e época de plantio. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Ed.). **Tomate para processamento industrial**. Brasília. EMBRAPA, CNPH. 2000, p. 168.
- LISBÃO, R. S.; FORNASIER, J. B.; TOSHIOIGUÊ; CURY, A. P. **Avaliação de Cultivares de Cebola em Diferentes Épocas de Semeadura em Monte Alegre do Sul**. Bragançã, Campinas. v.44, n.1, 1985, p. 441–450.
- MANFRON, P. A.; GARCIA, D. C.; ANDRIOLO, J. L. Aspectos morfofisiológicos da cebola. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 22, n. 1, 1992, p. 101–107.
- MELO, A. P. C. et al. Solanáceas em sistema orgânico no Brasil: tomate, batata e physalis. **Scientia Agropecuária**, v. 8, n. 3, 2017, p. 279–290.
- RAJABBEIGI, E. et al. Interaction of drought stress and UV-B radiation – impact on biomass production and flavonoid metabolism in lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 86, 2013, p. 190–197.
- RESTREPO-DÍAZ, H.; MELGAR, J. C.; LOMBARDINI, L. Ecophysiology of horticultural crops: an overview. **Agronomía Colombiana**, v. 28, n. 1, 2010, p. 71–79.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, L. Ecofisiología del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 4, n. 1, 2010, p. 97–108.

SAHU, F. M. Climate smart horticulture: converting waste to wealth. *International Journal of Science, Environment and Technology*, v. 5, n. 3, 2016, p. 1296–1302.

STRECK, N. A.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B. Effect of polyethylene mulches on soil temperature and tomato yield in plastic greenhouse. **Scientia Agricola**, Piracicaba. v. 52, n. 3, 1995, p. 587–593.

## **5 ECOFISIOLOGIA DE FRUTÍFERAS**

João Paulo Tadeu Dias  
Eduardo José de Almeida

O Brasil possui grande diversidade edafoclimática que, se por um lado permite cultivar uma diversidade de culturas agrícolas, por outro exige conhecer e dominar a resposta ecofisiológica dessas espécies vegetais. As frutíferas são exemplos da possibilidade de se cultivar uma mesma espécie em ambientes marcadamente diferentes. Como exemplo, pode-se citar a cultura da videira que é cultivada a altas latitudes como o sul do estado do Rio Grande do Sul, passando pelo cerrado de Goiás, oeste de São Paulo, sul de Minas Gerais e Triângulo Mineiro, até ao semiárido nordestino, no perímetro irrigado do rio São Francisco. Mas esta grande aptidão da videira e diversas outras frutíferas não se dão sem antes compreender a ecofisiologia dessas espécies, as demandas da

planta e suas respostas esperadas do desempenho fisiológico frente ao ambiente onde se desenvolverão.

Os fatores ambientais, como a temperatura, insolação, fotoperíodo, umidade relativa, precipitação, entre outros – que caracterizam uma região de cultivo – serão os fatores de seleção do morfotipo, ou seja, genótipo de frutíferas especialmente adaptadas a essas condições climáticas que terão satisfeitos os requerimentos de sua fisiologia, bioquímica, biofísica e biologia molecular.

Se por um lado tem-se que reconhecer os fatores ambientais que se encaixam nas exigências do morfotipo, por outro lado, deve-se igualmente reconhecer os efeitos estressores por que passariam um genótipo não adaptado a determinado ambiente, pois, dessa forma, um profissional conhecendo da ecofisiologia poderá propor estratégias de adaptação ecofisiológicas.

Nas culturas das frutíferas a ecofisiologia é especialmente relevante, primeiro, por se tratar de culturas perenes que se desenvolverão, após implantadas, por vários ciclos em ambiente onde os fatores meteorológicos se sucederão de diversas formas durante o ano. Como exemplos práticos, pode-se mencionar a uva, maracujá, citros, prunaceas (pêssego, maçã, ameixa) e camu-camu.

As frutíferas de importância econômica são diversificadas a ponto de encontrarem-se plantas originárias de clima temperado, de clima tropical e subtropical e de clima árido ou semiárido. Com isso, tem-se uma amplitude ecológica significativa. Contudo, em função de conhecimentos de fisiologia vegetal, bioquímica e genética, pode-se, atualmente, encontrar espécies frutíferas originariamente de clima temperado sendo cultivadas com sucesso em ambientes tropicais ou até mesmo semiáridos, como é o caso da uva e macieira. Como parâmetro para revisão e discussão, serão discutidas algumas características

importantes de algumas das principais frutíferas cultivadas, dentre elas o maracujazeiro, a videira, os citros e a bananeira.

### **Maracujá (*Passiflora edulis* L.)**

O maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* f. sp. *flavicarpa* L.) é tido como uma planta de clima tropical, proveniente de regiões com temperatura média anual entre 23 e 27°C, com baixa amplitude térmica. Há recomendações de se evitar regiões acima de 800m de altitude. Para regiões de clima mais frio, o maracujá roxo (*Passiflora edulis* f. sp. *edulis* L.) se adapta melhor (BRUCKNER e PIKANÇO, 2001).

O fator ecofisiológico mais marcante para o maracujazeiro, sobretudo o maracujazeiro amarelo, é o fotoperíodo que necessita de pelo menos 11 horas de luz para florir, caracterizando-a como planta de dia longo. Por esses motivos anteriormente citados, as regiões norte e nordeste – que possuem temperaturas anuais médias altas (acima de 22°C) e luminosidade intensa praticamente o ano todo – possuem as maiores médias de produtividade. Por outro lado, nas regiões Sul e parte do Sudeste, no inverno, as plantas interrompem o florescimento, impossibilitando a produção de maracujá, criando um período de entressafra (FREITAS, 2001).

Quanto à pluviosidade da região, ou seja, regime de chuvas, o maracujazeiro em geral, é considerado de boa resistência a seca. Aliás, essa frutífera possui uma limitação em regiões de grande acúmulo de água no solo em função da predisposição da planta aos patógenos que a umidade do solo desenvolve. Os principais patógenos são o *Fusarium oxisporum* e a *Phytophthora infestans*. Ainda o excesso de chuva na época do florescimento prejudica a ação dos insetos polinizadores e rompem os grãos de pólen, reduzindo a polinização e fertilização das flores. Céu encoberto nessa época de florescimento

prejudica a abertura das flores, reduzindo igualmente a produção de frutos (FREITAS, 2001).

O modo de condução do maracujazeiro, uma planta sarmentosa ou trepadeira, conduzida em espaldeiras formando “cortinado” pela poda que lhes são praticadas, possui grande interação ecofisiológicas com os ventos. O ambiente formado por essa arquitetura de planta facilita a formação de microclimas, que por sua vez são favoráveis ao estabelecimento de patógenos e pragas no interior da densa copa. A aeração do pomar é de grande importância na sanidade das plantas e inclusive na fisiologia da planta por conta da evapotranspiração, que pode ser influenciada pela maior ou menor incidência de ventos. Ventos que passam rente ao solo carregam a umidade formada pelo solo e nas folhas do maracujazeiro. Essa aeração diminui o ambiente propício ao desenvolvimento de fungos patogênicos, além de aumentar a evapotranspiração da cultura. Esse movimento retira, também, o calor das plantas que, se for excessivo, pode prejudicar o desenvolvimento das delas (DUBOIS et al., 1996).

### **Videira (*Vitis* sp.)**

A videira é considerada planta de clima temperado por ter folhas decíduas e necessitar de horas de frio hibernal (número de horas abaixo de 7°C) para entrar no período reprodutivo. Contudo, é cultivada em diversas regiões do planeta mudando a forma de plantar e entrar em hibernação, e o estímulo a entrar no período reprodutivo. No Brasil encontramos videira no extremo sul até ao nordeste. É certo que os elementos climáticos condicionam vários aspectos do cultivo que variará, também, com o genótipo e a interação genótipo-ambiente.

Considera-se que a ecologia dos primórdios das espécies de *Vitis sp.* localizam se numa faixa de 52° N e 40° S. Principalmente na região de clima mediterrâneo onde encontra melhores condições de desenvolvimento. Ou seja, verão seco e inverno chuvoso. A Figura 1 mostra a videira Cabernet Franc, cultivada no Vale do Colchagua – Chile, considerada propícia para o cultivo de uvas finas por conta do clima estável e seco.

**Figura 1:** Videira Cabernet Franc cultivada no Vale do Colchagua (Chile), considerada região propícia para o cultivo de uvas finas por conta do clima estável e seco.



**Fonte:** João Paulo T. Dias, Vinícola Santa Rita, janeiro de 2017.

A videira europeia (*V. vinífera* L.) é originária do centro da Ásia de clima mediterrâneo e a videira americana (*V. labrusca* L.) é proveniente de clima temperado úmido (Cfa) do norte da América.

As regiões que apresentam similaridades de clima em termos de pluviosidade e temperatura estão entre 100 mm e temperatura média de 17 a 22°C, encontradas em todo centro e sul do planalto do estado de São Paulo. Em Santa Catarina, o zoneamento agrícola climático sugere as regiões de centro do estado por ser a mais seca e mais fria. O Rio Grande do Sul reuniu as melhores condições ambientais para cultivo da uva vinífera, destacando a região oeste e centro, na divisa com Uruguai.

A região sul do Brasil é tida como a de maior produtividade por colheita, apesar de que o regime de chuvas excessivas no verão seja um fator desfavorável. Outra região que tem boa aptidão ao cultivo de uvas devido a similaridades climáticas é o sul de Minas Gerais.

Recentemente, a região do perímetro irrigado do rio São Francisco nas cidades de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), no semiárido nordestino, vem se destacando na produção de uvas de mesa e viníferas. O repouso vegetativo necessário para início de produção que naturalmente é dado pelo frio hibernal pode ser substituído pelo repouso causado pelo déficit hídrico na época seca. Nesses casos se sobressaem as espécies viníferas e a baixa umidade relativa, com média anual de pluviosidade em torno de 500mm, é condição desfavorável à patógenos. Outra vantagem climática dessas condições é que a alta temperatura com excedente de radiação durante todo o ano e a possibilidade de irrigar possibilita manipular o período hibernal promovendo o déficit hídrico e posteriormente o estímulo ao início reprodutivo com a irrigação e aplicação exógena de reguladores vegetais, promovendo um balanço hormonal que estimula o florescimento. Esse fato propicia o escalonamento da produção, inclusive na entre safra, e possibilita até duas safras anuais com uvas de satisfatória qualidade.

Se por um lado a videira exige período hibernal causado por determinado número de horas de frio (NHF) para depois entrar

em produção, por outro lado é exigente em temperaturas altas para elevadas produções. No ciclo biológico da videira a temperatura atua de diferentes formas. Inicia-se na indução a dormência da planta quando a temperatura se situa abaixo de 20°C, depois para a quebra da dormência se faz necessário temperaturas de 7 ou 13°C (variando de acordo com o grau de exigência de cada genótipo), e temperatura elevada durante o ciclo vegetativo, com temperatura ideal em torno de 22°C na fase de desenvolvimento da baga e de 27°C, na maturação.

A amplitude térmica é um fator de grande importância. Quanto maior a diferença entre a maior temperatura diurna com a menor temperatura noturna, maior será o resultado líquido do acúmulo de carboidratos pela fotossíntese. Isso se explica pelo fato de que a produção de fotossintatos durante o dia será em parte utilizado pela respiração noturna da planta. Com temperaturas menores a noite, se reduzirá o metabolismo e, conseqüentemente, a atividade da respiração noturna e o consumo de carboidratos (MARIN, 2008).

A videira é uma planta heliófila, ou seja, exigente em radiação solar, e a falta de luz causa danos à floração e à maturação. Por isso o tipo de condução da parte aérea é tão importante no manejo dessa cultura. O dossel pode variar na forma e no tamanho, determinando a distribuição e quantidade de folhas a interceptar a radiação solar que otimizará a fotossíntese. A Tab. 1 revela algumas características fotossintéticas importantes da videira e de algumas outras culturas frutíferas cultivadas a pleno sol, como ponto de compensação de luz (momento em que a velocidade e as taxas de fotossíntese e da respiração são iguais), ponto de saturação de luz (valor de intensidade luminosa a partir do qual a taxa de fotossíntese deixa de aumentar) e taxa máxima de assimilação de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

**Tabela 1:** Características fotossintéticas da videira e de culturas frutíferas cultivadas a pleno sol

Cultura	Ponto de compensação de luz ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Ponto de saturação de luz ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> (A, máxima) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
Videira ( <i>Vitis vinifera</i> )	67	1800-1900	25
Macieira ( <i>Malus domestica</i> )	57	1800-1900	16
Figueira ( <i>Ficus carica</i> )	49	1100	15-17
Oliva ( <i>Olea europaea</i> )	53	1000-1100	13-15
Laranjeira ( <i>Citrus sinensis</i> )	17	750-1000	15-22
Mamoeira ( <i>Carica papaya</i> )	29	1900	25-30
Pecan ( <i>Carya illinoensis</i> )	25	700-800	10-12

**Fonte:** Adaptado de Restrepo-Díaz, Melgar e Lombardini (2010).

Segundo Smart (1985), na cultivar Shiraz a radiação fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm), 9% é transmitida, 6% refletida e 85% absorvida. São necessários de 1200 a 1400 horas de insolação durante o período vegetativo para que haja coloração satisfatória das bagas e acúmulo de carboidratos adequado. Grande parte dos açúcares das bagas (80%) são formados provenientes da síntese nas folhas pela fotossíntese feita durante o período de maturação. Por outro lado, as horas de dias encobertos podem ser muito prejudiciais à produção, amadurecimento e coloração das bagas. Tem-se que abaixo de 30% do período durante o período de crescimento dos frutos seja favorável à produção. E insolação constante durante o início de mudança da cor até a plena maturação.

As videiras possuem sistema radicular muito profundo e isso as torna aptas a resistirem a secas. A necessidade hídrica das videiras varia muito em função do genótipo e das fases de desenvolvimento. Encontra-se videira vegetando bem em regiões de baixa pluviosidade (200mm) até regiões mais úmidas com mais de 1000mm anuais (PEDRO JR. e CENTELHAS, 2003).

Os graus-dia (GD) têm sido utilizados frequentemente para caracterizar as exigências térmicas da videira, principalmente para avaliar a duração do ciclo da videira e produção, inclusive para caracterizar a potencialidade climática de uma região. A Tab. 2 contém informações gerais sobre GD.

**Tabela 2:** Valores de Temperatura base (Tb) e graus-dia (GD) para videira.

Variedade	Tb (°C)	GD
Niagara Rosada	10	1550
Itália	10	1990
Vitis vinífera	12	1350

**Fonte:** Mandelli (1984); Pedro Jr. et al. (1994); Boliani e Pereira (1996).

Soma-se ao GD o conceito de Índice Biometeorológico, que por incluir mais um fator climático de alta exigência da videira, as horas de insolação, aumenta a caracterização das exigências climáticas. Por exemplo, na região de Jundiáí, Pedro Júnior. et al. (1994) desenvolveram um modelo matemático com a seguinte expressão:  $IB = \Sigma GD_{10} + 0,4 \Sigma I = 1945$ .

Onde: IB é o índice biológico; GD é o graus-dia com temperatura base de 10°C e I é número de horas de insolação.

De forma que o número 1945 é o valor acumulado diariamente de IB necessário para a videira Niágara Rosada atinja o final do

ciclo até a colheita, partindo da época da poda (PEDRO JÚNIOR e CENTELHAS, 2003).

Outra aplicação prática de grande importância dos GD é a previsão da época da colheita ou maturação da uva. Dessa forma, há maior possibilidade de programação das podas para escalonamento da produção. Basta se conhecer os dados climáticos médios da região (PEDRO JÚNIOR; CENTELHAS, 2003).

### **Citros (*Citrus* sp.)**

Os citros pertencem à família *Rutaceae* e correspondem a um grupo bastante variado de plantas frutíferas do gênero botânico *Citrus*, abrangendo importantes plantas como: laranjas, limões, pomelos, tangerinas, limas doces e ácidas, dentre outras. Flutuações dos fatores ambientais fora de taxas normais, normalmente, têm consequências bioquímicas e fisiológicas negativas para as plantas e, com os citros não é diferente.

A origem dos citros são os sub-bosques de florestas asiáticas com clima úmido, cujas características fisiológicas não são propícias sob condições de alta demanda hídrica na atmosfera, comum em climas mais quentes e secos (KRIEDEMANN; BARRS, 1981). Atualmente, dentre as regiões produtoras de citros, as principais áreas estão situadas em clima subtropical úmido (entre 20° e 40° de latitude), onde a temperatura do ar e do solo atingem valores inferiores a 15°C no inverno, e a precipitação anual varia de 1.200 a 1.500 mm (DAVIES, 1997). Para os citros, a relação entre a cultivar, o clima e o solo, sobressai-se o fator clima como componente que influencia no crescimento, produção e qualidade dos frutos (REUTHER, 1977).

Segundo Cunha Sobrinho et al. (1992), dentre os fatores climáticos, a temperatura é considerada como fator mais importante

entre aqueles que influenciam na qualidade dos frutos, como, por exemplo, tamanho e formato, coloração da casca e estágio de maturação. Para Rodriguez (1987), em climas frios, a determinação do ponto de colheita, baseando-se na mudança da coloração da casca, é mascarada pela aceleração da redução de clorofila e o aumento de pigmentos carotenóides na casca dos frutos. Estas alterações na pigmentação não permitem que se estabeleça uma boa correlação entre cor da casca e maturação interna do fruto. O aumento da concentração de açúcares ocorre durante toda a fase de crescimento e maturação dos frutos, estando diretamente relacionado à intensidade do processo fotossintético e, por sua vez, à temperatura e à intensidade de luz.

O florescimento dos citros é determinante para produtividade, que, por sua vez, é condicionado pelo estado fisiológico das plantas e pelas condições ambientais (TUBÉLIS, 1995). Dessa forma, sabe-se que baixas temperaturas e reduzida disponibilidade hídrica são os principais fatores ambientais que regulam a indução ao florescimento em citros (CASTRO et al., 2001). Durante o inverno, as plantas diminuem o crescimento devido à entrada em dormência pela baixa umidade do solo e temperatura (abaixo de 12-13°C) ou estresse hídrico, reduzindo o metabolismo (REUTHER, 1977). Esse processo fornece estímulo para a transformação de gemas vegetativas em reprodutivas, em função do balanço hormonal promovido por aquela condição climática (KRAJEWSKI; RABE, 1995). Após as primeiras chuvas (acima de 20 mm), inicia-se o florescimento por volta dos meses de agosto e outubro no Estado de São Paulo (TUBÉLIS, 1995) e Minas Gerais (CRUZ et al., 2007).

As laranjeiras apresentam padrões distintos de crescimento vegetativo dependendo do tipo climático da região de cultivo. Em condições tropicais, as plantas vegetam durante praticamente todo o ciclo anual devido às altas temperaturas e disponibilidade hídrica.

Já em climas subtropicais, o crescimento de laranjeiras pode ser dividido em duas fases principais: uma fase de crescimento intenso que ocorre no período compreendido entre a primavera e o verão (STENZEL et al., 2005); e uma fase de paralisação do crescimento da parte aérea (copa) que acontece entre o outono e o inverno. Observa-se que o desenvolvimento vegetativo acompanha a variação sazonal do clima, sendo a redução do crescimento observada normalmente em épocas com baixa temperatura e com déficit hídrico e a retomada do crescimento ocorre após a elevação da temperatura e da disponibilidade hídrica (DAVIES; ALBRIGO, 1994).

As espécies cítricas cessam o crescimento vegetativo da parte aérea e das raízes em temperaturas próximas a 13°C. Com o aumento da temperatura há o aumento progressivo da atividade metabólica, com o máximo desenvolvimento atingido cerca de 30°C (SPIEGEL-ROY; GOLDSCHMIDT, 1996). Em relação ao fator hídrico, a baixa disponibilidade sazonal de água também reduz o crescimento dos citros, afetando tanto o crescimento das raízes e da copa como o fornecimento de foto assimilados para a planta (DAVIES; ALBRIGO, 1994).

O fluxo reprodutivo de primavera é marcado principalmente pelas brotações reprodutivas (RIBEIRO et al., 2008), sendo responsável pela safra do ano seguinte. Embora os citros possam apresentar vários fluxos vegetativos e/ou reprodutivos dependendo da condição ambiental (DAVIES; ALBRIGO, 1994).

Importante ferramenta que merece ser comentada para citros é o Graus-dia (GD), ou unidades térmicas, que é a variável apropriada para determinar em diversas regiões o tempo necessário entre o florescimento e a maturação dos frutos, ou qualquer fase fenológica, nas diversas cultivares. GD acumulados têm sido usados para estimar a quantidade de calor exigida para o crescimento e a maturação dos

citros (VOLPE et al., 2002). Esses mesmos autores concluíram, após quatro anos de estudo na região de Bebedouro, que GD foi a variável que exerceu maior efeito na taxa de maturação dos frutos da primeira florada de variedades de laranjas-doces (Natal e Valência) de maturação tardia. O estudo das relações entre o desenvolvimento das plantas e o acúmulo de graus-dia pode ser útil para a programação de colheitas, previsão de início e duração de determinados períodos fenológicos e zoneamento agrícola das variedades.

Um dos fatores ambientais ou climáticos mais importantes para os citros é a água. A água é essencial em qualquer ecossistema, seja para plantas ou animais. Esse é um recurso ou fator, segundo Navejas-Jiménez et al. (2011), que interage com as condições climáticas e de solo, tendo efeito direto no ecossistema. A água é primordial e essencial para o protoplasma das plantas e para o processo fotossintético. Além disso, a distribuição da precipitação é muito relevante, pois se relaciona com os estádios vegetativos de crescimento. Em pomares de laranja, sérios problemas de adaptação são recorrentes de acordo com as condições agroclimáticas, principalmente decorrentes da demanda evapotranspirativa em ambientes áridos. Os autores determinaram em laranjeiras demanda de 6,8 e 5,2 mm dia<sup>-1</sup>, com requerimento líquido total por hectare de 25 e 19 m<sup>3</sup> por dia. No entanto, há que se observar e considerar as características edafoclimáticas da região de cultivo e fazer os devidos ajustes no manejo da água durante o ciclo de crescimento.

O ciclo de crescimento dos citros pode ser caracterizado conforme Cañizares Chacín et al. (2012) que trabalharam com lima-ácida ‘Tahiti’ enxertadas sob limão Volkameriano (*Citrus volkameriano*), a uma altitude de 266 m, com precipitação anual de 1071,3 mm, temperatura média de 26°C, evaporação anual de 2070 mm e evapotranspiração de 1552 mm, solos de textura arenosa, com pH de 5,30, fertilidade média. Os autores verificaram a dinâmica do

crescimento dos frutos em três fases: uma de crescimento lento, que teve duração de aproximadamente de 42 dias depois da abertura floral (DDAF); uma segunda, de crescimento rápido que começou dos 49 aos 196 DDAF e; a terceira, com diminuição do crescimento dos 203 aos 245 DDAF. Os frutos requereram 96 DDAF para colheita, alcançando as melhores características a partir dos 161 aos 189 DDAF.

### **Bananeira (*Musa spp.*)**

Amplamente cultivada e distribuída no mundo, a bananeira abrange diferentes regiões edafoclimáticas, como trópicos úmidos, trópicos semiáridos e subtropicais frios. Os processos de fotossíntese, transpiração, respiração, absorção de água, de nutrientes e o balanço hormonal da bananeira são interdependentes, influenciados pelas interações dos fatores água-solo-genótipo-atmosfera determinam o crescimento, o desenvolvimento fenológico, a produtividade e são regulados pela interferência humana. Entretanto, independentemente do tipo climático e ou edáfico padrão da região de cultivo, as discussões atuais remetem para o predomínio de extremos e alterações climáticas que sugerem aumentos dos estresses de seca e calor. Acredita-se o que aumento da produção de banana em regiões mais sujeitas às variações climáticas, que apresentam estresses associados como hídrico, térmico, osmótico, de vento e de radiação demanda ações de melhoramento para obtenção de cultivares tolerantes, aliada à adequação nas práticas de manejo que possibilitem construir soluções com maior especificidade no âmbito local, baseadas na interação homem-genótipo-ambiente (DONATO et al., 2015).

A bananeira possui um ciclo cultural total de aproximadamente 370 dias, no qual vegeta por 280 dias e emite uma folha a cada sete a dez dias, precisando em torno de 40 folhas para emitir a inflorescência,

além de mais 90 dias para crescimento e desenvolvimento do cacho, em condições ideais, ou seja, ao nível do mar (altitude zero). A cada 100 metros de altitude que suba, a cultura terá um acréscimo de 30 a 45 dias no ciclo da planta. Em altitudes demasiadamente elevada, a bananeira pode ainda sofrer com a forte incidência de ventos. Ventos constantes e excessivos podem provocar o tombamento de plantas e o fendilhamento das folhas, favorecendo a incidência de patógenos, especialmente fungos da parte aérea. A bananeira é favorecida quando cultivada em solos bem drenados e ricos em matéria orgânica, o que auxilia o convívio com a doença fúngica Mal do Panamá. A planta é de clima tropical com temperaturas ideais para desenvolvimento de 20 a 24°C. Temperaturas inferiores a 10°C e superiores a 40°C podem ser prejudiciais. Além disso, temperaturas inferiores a 10° C provoca danos por frio (também conhecida como *chilling injury*). A luminosidade afeta o ciclo, o tamanho do cacho, sendo importante para fixar o cacho e não cair o engajo, além de afetar a qualidade comercial dos frutos. Considera-se uma luminosidade adequada a cultura de 1000 a 2000 horas de luz por ano (SIMÃO, 1998).

Estresse abiótico causado por seca ou inundação, deficiência ou excesso hídrico, ventos fortes e constantes, excesso ou falta de nutrientes resultando em desequilíbrio nutricional podem ocorrer durante o ciclo cultural da bananeira. Do ponto de vista nutricional, Melo et al. (2009) revelaram que a bananeira sob excesso de nitrogênio e ausência de potássio, a condutância estomática é reduzida, causando reflexos negativos durante o processo fotossintético. Em situações de maior disponibilidade de potássio, as plantas necessitam de menores quantidades de nitrogênio para manutenção da eficiência no uso da água, como consequência do melhor ajuste estomático.

A produção de bananas situa-se entre as latitudes de 30° N e S e temperatura média entre 16 e 37°C. Baixas temperaturas não são

suportadas pelas cultivares de banana em geral, pois desseca as folhas, atrasa desenvolvimento vegetativo, reduz tamanho dos pseudofrutos, deformando-os e a ausência de folhas expõe o cacho ao sol, queimando-os (GANRY, 1973).

A friagem ou *chilling* causado por ventos frios é um dano fisiológico que ocorre com temperaturas abaixo de 10°C. Nesse fenômeno ocorre coagulação dos cloroplastos do tecido da planta e frutos. A baixa temperatura também promove o fechamento dos estômatos, coagulação da seiva nos tecidos vegetais e exerce influência no desenvolvimento normal da planta e na maturação dos frutos. A temperatura ideal de crescimento da bananeira é em torno de 21 a 27°C com temperatura ótima de 24 a 25°C (MANICA, 1997).

As bananeiras de forma geral necessitam de 1.800 a 2.800 mm anuais para desenvolvimento e produção plena. Regiões abaixo desse volume de chuvas devem suplementar com irrigação, pois a falta de água irá determinar o fechamento dos estômatos, conseqüente redução da fotossíntese e acúmulo de carboidratos. Assim como maior tempo na emissão de folhas, redução no número de folhas o que acarreta na redução do número de órgãos florais, cachos e frutos (MANICA, 1997).

Quanto à luminosidade, as bananeiras são tidas como de capacidade de superar a falta de luminosidade. Ainda não se tem a quantidade ótima de lux que uma bananeira exige, porém, a bananeira é cultivada em regiões alta intensidade luminosa como Israel (70.000 lux). A atividade fotossintética aumenta rapidamente entre 2.000 a 10.000 lux, com aumento mais lento entre 10.000 e 30.000 lux (CHAMPION, 1975).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As frutíferas são demasiadamente afetadas bioquimicamente, fisiologicamente e morfológicamente pelas condições ecofisiológicas da região de cultivo.

Estudos adicionais da resposta fisiológica das frutíferas frente as condições ambientais, sobretudo em condições de estresse ambiental, devem ser realizados de forma a visar melhor crescimento, desenvolvimento e rendimento das culturas frutíferas.

## REFERÊNCIAS

- BRUCKNER, C. H.; PICANÇO, M. C. **Maracujá**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001, p. 472.
- CAÑIZARES CHACÍN, A. E. Crecimiento, desarrollo y calidad del fruto de Lima 'Tahiti' (Citrus latifolia Tanaka) en el Estado Monagas, Venezuela. **Revista Científica UDO Agrícola**, v. 12, n. 3, 2012, p. 535–541.
- CASTRO, P. R. C.; MARINHO, C. S.; PAIVA, R.; MENEGUCCI, J. L. P. Fisiologia da produção dos citros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.209, 2001, p. 26–38.
- CHAMPION, J. El plátano. Barcelona: Blume, 1975, p. 247.
- CUNHA SOBRINHO, A. P.; SOARES FILHO, W. S. S.; PASSOS, O. S.; CALDAS, R. C. Influência de porta-enxertos na qualidade do fruto de laranja 'Baianinha' sob condições tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 14, n. 3, 1992, p. 99–104.
- DAVIES, F. S. An overview of climatic effects on citrus flowering and fruit quality in various parts of the world. In: CITRUS FLOWERING & FRUITING SHORT COURSE, 1.1997, Lake Alfred. **Proceedings**. Lake Alfred: CREC/IFAS, 1997. Disponível em: <<http://www.fcprac.ifas.ufl.edu/UF%20IFAS%20Short%20Course%20Proceedings/citrusflowering.htm>>.
- DAVIES, F. S.; ALBRIGO, L. G. **Citrus**. Wallingford: CAB International, 1994, p. 254.
- DONATO, S. L. R. et al. Considerações ecofisiológicas e estratégias de manejo da bananeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 8. 2015, Montes Claros. **Palestras e resumos...** Belo Horizonte: Epamig, 2015. 1 CD-ROM. Disponível em:<<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1020352>>. Acesso em: 26/01/2018.
- DUBOIS, J. C. L.; VIANA, V. M.; ANDERSON, A. B. **Manual agroflorestal para Amazônia**. Rio de Janeiro, v.1, 1996, p. 228.
- FREITAS, G. B. Clima e solo. 2001. In: BRUCKNER, C. H.; PICANÇO, M. C. **Maracujá**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001, p. 472.
- KRAJEWSKI, A. J.; RABE, E. Citrus flowering: a critical evaluation. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v.70, n.3, 1995, p. 357–374.
- MARIN, F. R.; ASSAD, M. L. L.; PACHECO, L. R. F.; PILAU, F. G.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; TONIETTO, J.; MANDELLI, F. Potencial de Clima e Solo para a Viticultura no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 16, 2008, p. 141–152.

MELO, A. S. *et al.* Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, 2009, p. 733–741.

NAVEJAS-JIMÉNEZ, J. *et al.* Comparación de métodos para estimar la evapotranspiración em uma zona árida citrícola del noroeste de Mexico. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 13, 2011, p. 147–155.

PEDRO, J. R. M. J.; CENTELHAS, P. C. Clima e produção. In: Pommer, C. V. (ed.) **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003, p. 778.

RESTREPO-DÍAZ, H.; MELGAR, J. C.; LOMBARDINI, L. Ecophysiology of horticultural crops: an overview. **Agronomía Colombiana**, v. 28, n. 1, 2010, p. 71–79.

REUTHER, W. Citrus. In: ALVIM, P.T.; KOZLOWSKI, T.T. Ecophysiology of tropical crops. **London**: Academic Press, 1977, p. 409–439.

RODRIGUEZ, O. Ecofisiologia dos citros. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. Ecofisiologia da produção agrícola. **Piracicaba**: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987, p.149–164.

SIMÃO, S. **Tratado de Fruticultura**. Piracicaba-SP, Editora FEALQ, Série II. 1998, p. 760.

SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E. E. **Biology of citrus**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

STENZEL, N. M. C.; NEVES, C. S. V. J.; MARUR, C. J.; GOMES, J. C. Crescimento vegetativo de plantas cítricas no norte e noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 3, 2005, p. 412–417.

TUBÉLIS, A. Clima: fator que afeta a produção e qualidade da laranja. **Laranja, Cordeirópolis**, v. 16, n. 2, 1995, p. 179–211.

VOLPE, C. A.; SCHÖFFEL, E. R.; BARBOSA, J. C. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas 'Valência' e 'Natal' na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 24, n. 2, 2002, p. 436–441.

## **6. ECOFISIOLOGIA DO CAFEIEIRO**

Josef Gastl Filho

A família *Rubiaceae* abrange mais de 10 mil espécies agrupadas em 630 gêneros distintos. Desta família o gênero do café (*Coffea*) é o mais importante economicamente, sendo as espécies mais pesquisadas *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* (PELOSO et al., 2017).

No cenário internacional, o Brasil ocupa a primeira posição como produtor e exportador de café, e está em segundo lugar como nação consumidora do produto (LUZ, 2014). Não é para menos, uma vez que o país apresenta as mais avançadas tecnologias para produção, pesquisas desenvolvidas por diversos órgãos de pesquisa públicos, privados e universidades, além da difusão dos conhecimentos gerados por meio da extensão aplicada e, ainda, infraestrutura adequada para a exportação e mecanismos de crédito suficientes para atender a cadeia

produtiva, o que coloca nosso país na vanguarda cafeeira (SAKIYAMA et al., 2015; PELOSO et al., 2017).

Na safra 2017, a produção brasileira de café foi estimada em 44,97 milhões de sacas beneficiadas, sendo que, destas, 34,25 milhões de sacas foram do café arábica e 10,72 milhões de sacas do café conilon. A área em produção estimada no Brasil em 2017 foi de 1,87 milhões de hectares de um total de 2,21 milhões de hectares com a cultura (CONAB, 2017).

Embora líder de produção no cenário internacional, a cultura cafeeira no Brasil é constantemente afetada pelas variações nas condições climáticas e edafoclimáticas, resultantes do fenômeno denominado popularmente como efeito estufa, o qual tem levado a mudanças climáticas e de biodiversidade nas mais diversas regiões do planeta (PEZZOPANE et al., 2010; PELOSO et al., 2017).

Dessa forma, os estudos sobre a ecofisiologia tentam entender os aspectos fisiológicos evolutivos, ecológicos e comportamentais das espécies diante dos fatores abióticos e bióticos do meio que os rodeia, de modo que possa permitir os avanços tecnológicos. Fatores esses que afetam diretamente a produtividade, a qualidade dos grãos e, conseqüentemente, da bebida tão apreciada por muitos. Esses e outros assuntos da atualidade serão tratados ao longo deste capítulo que abordará temas sobre a ecofisiologia da cultura cafeeira estudados nos últimos anos no Brasil.

A cafeicultura é altamente dependente das condições ambientais para o seu bom crescimento vegetativo e reprodutivo, afetando diretamente na qualidade e na produtividade da cultura. No Brasil a cultura cafeeira está distribuída em diferentes latitudes e altitudes, estando, principalmente, nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná, Rondônia e Rio de Janeiro,

correspondendo a 98,6% da produção nacional, cada um com suas características próprias de ambiente e nível tecnológico (SANTOS, 2013; SILVEIRA et al., 2015a).

Cada uma dessas regiões apresenta características próprias, tanto em relação ao ambiente quanto às condições socioeconômicas e tecnológicas, condições que proporcionam uma diversidade de sabores e aromas aos cafés produzidos no país, principalmente, em decorrência das variações de clima, altitude e sistemas de produção (SILVEIRA, 2014).

Como supracitado, a cultura cafeeira possui duas espécies: o café arábica (*Coffea arabica* L.) e o café conilon (*Coffea canephora*), as quais são responsáveis pela geração de um dos produtos econômicos mais importantes do Brasil. Por se tratar de espécies distintas, é de se esperar que ambas apresentem diferenças entre si no que tange os aspectos morfofisiológicos que são influenciados diretamente pela interação ecofisiológica com os fatores ambientais.

São vários os fatores edafoclimáticos que afetam as respostas ecofisiológicas da cultura do café, sendo os mais importantes a radiação e fotoperíodo, temperatura, altitude, umidade relativa do ar, precipitação e disponibilidade hídrica, condições do solo, velocidade e direção dos ventos.

De acordo Silveira et al. (2015b), além dos fatores ambientais, os fatores genéticos, fisiológicos e fenológicos afetam diretamente na qualidade sensorial da bebida do café, uma vez que permitem a formação e a presença de precursores nos grãos que contribuem no sabor e aroma, formados durante a torração do grão. Portanto, deve-se ter em observância as condições edafoclimáticas do local em que se deseja implantar a cultura, principalmente se o objetivo for a obtenção de cafés especiais.

Dentre os elementos citados, destaca-se a altitude, a qual exerce grande influência, seja de forma direta ou indireta sobre a maioria dos fatores ambientais, como a temperatura, radiação, regime de chuvas, velocidade dos ventos e pressão parcial dos gases que, por sua vez, afetam a velocidade das reações enzimáticas das plantas que interferem nos processos fisiológicos, tais como a respiração e a fotossíntese. Dessa forma, a junção desses eventos interfere na extensão do ciclo da planta na duração dos estádios reprodutivos e no desenvolvimento dos frutos, já que pode haver o aumento no tempo de desenvolvimento, o que acarreta na maior uniformização da maturação dos frutos e, conseqüentemente, na qualidade sensorial do produto final (ZHU et al., 2010; SILVEIRA, 2014; LUZ et al., 2015; SILVEIRA et al., 2015a). Portanto, a altitude também se constitui em dos fatores mais importantes para a diferenciação de regiões cafeeiras, uma vez que os estádios de formação podem adiantar-se ou atrasar-se, de acordo com a condições locais (SILVEIRA et al., 2015b).

Em condições naturais, muitas formas da espécie *C. canephora* podem ser encontradas nas terras baixas das florestas equatoriais da Guiné e da Uganda, já as populações nativas de *C. arabica* se encontram restritas às florestas das montanhas no sudoeste da Etiópia, em latitudes variando de 1.600 a 2.800 metros (DAMATTA et al., 2007).

Segundo Zhu *et al.* (2010), em relação aos cultivos em terras mais baixas, as plantas cultivadas em elevadas altitudes diferem em suas respostas fisiológicas e morfológicas, já que se encontram expostas à maior irradiância, flutuações diurnas de temperatura, alta velocidade do vento, redução de pressão parcial de gases, limitação de água e nutrientes, curto espaço de tempo para o crescimento e desenvolvimento.

Quando comparado com os cultivos de regiões com altitudes mais elevadas, o acúmulo de amido em frutos do cafeeiro é mais

precoce em altitudes menores, fato constatado por Laviola et al. (2007) que verificaram que, em menores altitudes, o desenvolvimento de frutos necessitou de 211 dias para sua formação, ao passo que em maiores altitudes a formação do fruto foi até 262 dias após a antese. Os autores inferiram que a ocorrência de menores temperaturas máximas ocasiona menor velocidade das reações enzimáticas, menor transporte de fotoassimilados, menor respiração e diminuição da velocidade de acúmulo de massa seca ampliando o tempo de formação do fruto no cafeeiro.

Segundo Silveira (2014), o enchimento do grão, em localidades de menor altitude, torna-se mais crítico, visto que a planta completa este processo em menor tempo. Além do mais, a planta pode sofrer maior desgaste pelo curto período de formação dos frutos, necessitando absorver nutrientes e sintetizar carboidratos em menor espaço de tempo para atender às necessidades dos frutos.

Ainda de acordo com Silveira (2014), um maior ciclo de maturação permite um maior tempo para completar o enchimento do grão e garante a completa manifestação de todos os passos bioquímicos requeridos para o desenvolvimento da qualidade da bebida, com aroma e sabor muito mais intensos.

Como já visto, a altitude influencia diretamente na temperatura do ar, podendo haver a redução em 1°C a cada 100 metros elevados. Esta atua em diversos aspectos fisiológicos do cafeeiro, dentre eles a duração do ciclo reprodutivo, o que acaba por condicionar a época de colheita (PEZZOPANE et al., 2008). As temperaturas médias anuais mais favoráveis à produção do *C. arabica* são aquelas que ocorrem no intervalo de 18°C a 22°C, sendo o ideal de 19°C a 21°C. Temperaturas acima de 23°C estimulam o rápido desenvolvimento e amadurecimento das frutas, o que frequentemente leva a perdas de qualidade. Se a

temperatura for elevada nos estádios de florescimento, especialmente se for associada a uma estação seca prolongada, pode dificultar as floradas e ocasionar o aborto de flores. Por outro lado, temperaturas médias anuais inferiores a 18°C prejudicam o desenvolvimento dos frutos, cuja maturação pode se sobrepor a florada seguinte, o que prejudica a fase vegetativa e a produção do cafeeiro (DAMATTA et al., 2007; LUZ et al., 2015).

Outro ponto importante é a ocorrência, mesmo que esporádica, de geadas que podem limitar o sucesso econômico da safra. Em cafeeiros recém-plantados, a ocorrência de geadas com temperatura mínima de -3°C pode ser letais para o tecido foliar, dependendo do tempo de exposição ao frio, estado nutricional, vigor da planta, cultivar e e idade. Para *C. canephora*, a média anual favorável ao seu desenvolvimento varia de 22°C a 26°C, sendo, portanto, menos adaptável a temperaturas mais baixas do que *C. arabica* (DAMATTA et al., 2007; CARBONIERI et al., 2013).

Silveira et al. (2015b) afirmam que as temperaturas médias mais baixas desempenham papel fundamental no desenvolvimento de atributos que conferem boa qualidade no produto final. Além do mais, temperaturas mais amenas favorecem a manifestação de todas as etapas bioquímicas necessárias para o desenvolvimento da qualidade da bebida, em comparação com regiões mais quentes, condicionando a maturação adequadas dos frutos.

Outro fator ambientalmente importante é a umidade relativa do ar, a qual tem um impacto significativo no crescimento vegetativo e reprodutivo da planta do café. Plantas da espécie *C. canephora* conseguem desenvolver adequadamente em condições com alta umidade relativa do ar e toleram curtos períodos com umidade relativa do ar mais baixas. Já a *C. arabica* requer uma atmosfera menos úmida, similar ao do seu centro de origem nas terras altas da Etiópia (DAMATTA et al., 2007).

De acordo com Santos (2013), em localidades em que o clima se apresenta mais úmido e/ou quente durante o período de colheita, os frutos passam rapidamente do estágio cereja para passa, e há grande risco de a fermentação inicial dos frutos (acética e láctica) evoluir rapidamente para as fases seguintes (propiónica e butirica), que são extremamente prejudiciais à qualidade do café.

Outro elemento natural importante são os movimentos das massas de ar da atmosfera que, de acordo com Matiello e Almeida (2017), os ventos, atualmente, são a terceira causa mais comum de lesões em troncos de plantas de café, conhecidas por canela de vento, consistindo de um engrossamento inicial do tronco, formando uma espécie de cortiça na casca, podendo ocorrer mais junto ao solo ou pouco acima deste. Ao se cortar o caule no local da lesão, pode se observar os tecidos internos frouxos, devido o movimento constante do vento.

De acordo com Damatta et al. (2007), o estresse ocasionado pelos ventos fortes e constantes às plantas do cafeeiro podem levar à redução da área foliar e do comprimento de ramos ortotrópicos e plagiotrópicos. Além disto, prejudica gravemente as folhas, gemas apicais, gemas florais e o desenvolvimento de frutos. Outro ponto importante abordado por Damatta et al. (2007) é que os ventos promovem a ampliação da evapotranspiração e, conseqüentemente, elevam a exigência hídrica das plantas, portanto, é recomendável a utilização de quebra-ventos em locais com ventos fortes e constantes de modo a amenizar os efeitos desse elemento da natureza.

A radiação solar é um fator importante na floração e produção do cafeeiro pela influência que exerce na síntese de fotoassimilados e no balanço hormonal. No entanto, os efeitos gerados por ela dependerão de outros parâmetros climáticos, tais como a temperatura e a disponibilidade de água, além da idade da planta e a densidade de plantio (QUEIROZ-VOLTAN; FAHL; CARELLI, 2011).

A radiação solar é fundamental para o crescimento do cafeeiro, não só por fornecer energia luminosa para a fotossíntese, mas por fornecer sinais que regulam seu desenvolvimento através de receptores de luz sensíveis a diferentes intensidades e qualidade. Este fato contribui para as diferentes respostas fisiológicas em suas características tanto bioquímicas quanto anatômicas e de crescimento (LUNZ et al., 2007).

O nível de radiação, ao qual as plantas estão expostas, pode afetar as características morfológicas, anatômicas e fisiológicas da folha, interferindo diretamente sobre o desenvolvimento, função e estrutura foliar, estrutura dos cloroplastos e componentes do processo fotossintético. A espessura da folha, o desenvolvimento da epiderme e do parênquima, a massa foliar específica, o número total de células das folhas e a quantidade, distribuição, tamanho, forma e mobilidade dos estômatos são diretamente afetadas pela intensidade de luz à qual estão expostos (QUEIROZ-VOLTAN, FAHL; CARELLI, 2011; BALIZA et al., 2012).

Souza Júnior et al. (2011) e Belan et al. (2011), ao observarem as seções transversais do limbo foliar das duas espécies cultivadas em duas regiões distintas – uma de clima ameno e outra de clima semiárido – notaram que elas apresentavam maior espessura para *C. arabica*.

De acordo com Nascimento et al. (2006), a maior espessura do limbo foliar pode ser uma característica adaptativa a condições de maior intensidade de radiação sem sombreamento. Além do mais, a maior espessura da lâmina foliar permite o aumento da capacidade de dispersão, absorção e canalização da luz, o que pode vir a minimizar o aquecimento e evitar danos fotooxidativos, ocasionados pelas elevadas temperaturas e luminosidade. Em síntese, essas modificações estruturais têm como objetivo a otimização da captura da radiação disponível. (BALIZA et al., 2012).

Referente à dimensão das folhas, o café conilon apresenta maior área superficial para captação de luz, maior número de células epidérmicas, maiores valores de índice estomático e estômatos menores. O maior número de estômatos favorece as trocas gasosas com o ambiente, o que resulta em um controle mais eficaz da transpiração e da fotossíntese em localidades com alta demanda evaporativa, tais como o Norte de Minas Gerais (SOUZA JÚNIOR et al., 2011; BELAN et al., 2011).

A disposição e a forma das folhas das duas espécies são similares, com folhas opostas cruzadas, curto-pecioladas, com lâminas elípticas a elíptico-lanceoladas e margens onduladas (BELAN et al. 2011).

Em relação à fotossíntese líquida e aos aspectos da anatomia foliar, pode ser observado que as plantas de *C. canephora* apresentam maiores taxas de condutância estomática, transpiratórias e fotossintética em relação a *C. arábica* L. Em relação à emissão de fluorescência, o café arábica apresenta maiores médias que o café conilon. As folhas deste último, por sua vez, apresentam maior eficiência do sistema antena, para a absorção e transferência de energia luminosa do que os cafeeiros de *C. arabica* (BELAN et al. 2011).

O cultivo de *C. arabica* sob sombreamento moderado faz com que as plantas sofram menos com os estresses ambientais. Dessa forma, apresentam maior taxa fotossintética e eficiência de uso de água e nitrogênio e, conseqüentemente, têm maior potencial bioquímico e fisiológico para fixação de carbono (RODRÍGUES-LÓPEZ et al., 2013; RAKOCEVIC; SCHOLZ; CHARMETANT, 2015).

Em *C. arabica*, os estômatos são predominantemente do tipo paracítico, enquanto no conilon predomina o tipo actinocítico. A existência de um maior valor da relação diâmetro polar com o diâmetro

equatorial indicaria uma maior funcionalidade do estômato. Entretanto, em ambas as espécies, eles não apresentam diferenças entre si em relação aos diâmetros, o que indica que a funcionalidade dos estômatos é semelhante entre as espécies (SOUZA JÚNIOR et al., 2011; BELAN et al., 2011).

Souza Júnior et al. (2011) ao analisarem as trocas gasosas das folhas das duas espécies, sob temperatura ambiente de 24,3°C, não observaram diferenças quanto à fotossíntese, transpiração e condutância estomática.

O conhecimento do processo de fotossíntese e da alocação de fotoassimilados entre as folhas e frutos do cafeeiro é um fator de importância, pois, permite identificar os períodos de maior necessidade de fotoassimilados pela planta. Tendo-se essas informações é possível maximizar, por meio de práticas culturais, a produção de fotoassimilados nos períodos mais críticos, de forma que a planta venha a produzir carboidratos em quantidades suficientes para a manutenção do seu crescimento vegetativo, bem como para a produção de frutos (LAVIOLA et al., 2007).

A intensidade de radiação sobre as plantas durante a maturação dos frutos afeta diretamente na sua classificação posteriormente. De acordo com Fahl et al. (2009), as plantas cultivadas a pleno sol tendem a apresentar maior porcentagem de grãos passa e menor porcentagem de grãos verdes, em relação aos sombreados. Relação indesejável para os produtores, ela é obtida em função do desenvolvimento e maturação exponenciais dos frutos expostos diretamente à radiação. Outro fato importante é que o sombreamento promove a antecipação do desenvolvimento das gemas e a abertura dos botões florais em relação às plantas cultivadas a pleno sol.

Outro detalhe ambiental importante e vital para qualquer organismo vivo é a água, a qual as culturas recebem por meio da irrigação ou pela precipitação pluviométrica. A exigência desta por parte da cafeicultura está relacionada com as características do solo, umidade atmosférica e nebulosidade, além das práticas culturais (DAMATTA et al. 2007).

A precipitação ideal para o *C. arabica* está entorno de 1.200 a 1.800 mm anuais; para o *C. canephora*, por sua vez, a precipitação ideal é superior a 2.000 mm anuais (DAMATTA et al. 2007; SAMPAIO NETO, 2012). De acordo com Sampaio Neto (2012), se a precipitação pluviométrica for uniformemente distribuída ao longo do ano e em épocas favoráveis, o cafeeiro poderá produzir bem tanto em localidades em que chovam 800 mm como onde chovam mais de 2.000 mm anualmente.

De acordo com Damatta et al. (2007), a precipitação excessivamente abundante ao longo do ano é responsável, muitas vezes, por baixa produtividade, sendo um fator limitante a ausência de período de estiagem para o cultivo em regiões tropicais. Esse período é essencial à fase de crescimento quiescente, sendo também importante para estímulo da floração, como veremos ao longo deste capítulo.

Em relação ao déficit hídrico, a espécie *C. arabica* suporta entre 100 a 150 mm ano<sup>-1</sup>, já para *C. canephora* suportam entre 150 a 200 mm ano<sup>-1</sup>, caso esses déficits hídricos ultrapassem esses limites ou haja períodos limitantes, há a necessidade de irrigação para um melhor desenvolvimento e manutenção da planta (SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 2008; SAMPAIO NETO, 2012).

De acordo com Santinato, Fernandes e Fernandes (2008), as regiões cafeiras tradicionais apresentam chuvas dentro dos limites e com boa distribuição, entretanto, em outras regiões produtoras tais

como Nordeste e cerrado, chuvas podem ocorrer abaixo do necessário, e com épocas chuvosas invertidas à das regiões tradicionais, sendo necessária a realização da irrigação nos cultivos de café.

A irrigação tem sido uma técnica empregada cada vez mais em cafezais brasileiros nos últimos anos, o que tem possibilitado a expansão e utilização de áreas marginais antes consideradas inaptas ao cultivo em função do balanço hídrico e condições climáticas desfavoráveis à cultura. Outros fatores que têm contribuído para a crescente utilização dessa técnica são as alterações climáticas observadas em várias regiões produtoras, como o sul do Estado de Minas Gerais, que tem apresentado deficiências hídricas específicas em determinados estádios fenológicos da cultura, acarretando prejuízos à produção. Além disso, o uso desta tem apresentado bons resultados mesmo em regiões produtoras tradicionais, pois, tem promovido o incremento na produção de lavouras e a obtenção de grãos com uma bebida de melhor qualidade (SOUZA, 2009; CUSTÓDIO et al., 2012; SAMPAIO NETO, 2012; FERNANDES et al., 2016).

Atualmente, a irrigação na cafeicultura representa cerca de 10% da área total, e existe uma previsão de expansão para 20% nos próximos 10 anos, originando mais de 5 milhões de empregos diretos e indiretos, além de 9 a 12 milhões de sacas beneficiadas por ano (SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 2008). De acordo com Carvalho *et al.* (2013), o produtor deve estabelecer critérios apropriados para o correto manejo de água fornecida à cultura.

Sobre a viabilidade técnica e econômica do emprego da irrigação em cafezais, Fernandes *et al.* (2016) realizaram um estudo com duração de 9 anos na área do planalto do município de Araxá, região tradicional na produção de café, sem a utilização de irrigação. Região que, no entanto, tem sofrido alterações climáticas, sendo verificados

déficits hídricos superiores a 150 mm na região, o que tem prejudicado o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura.

Conforme é demonstrado na Tabela 1, os resultados obtidos por Fernandes *et al.* (2016) demonstram a viabilidade técnica e econômica da utilização da irrigação, sendo superior à da alternativa não irrigada, constituindo de um fator condicionante para elevação da rentabilidade e diminuição do risco no cultivo. Mostram, também, o quão importante é a irrigação suplementar para o bom desenvolvimento e produtividade da cultura cafeeira, principalmente em anos de déficit hídrico. Em relação ao manejo de irrigação contínua, os autores observaram reduções na produtividade na ordem dos 13% a 38% nos que passaram por paralisação na irrigação, sendo visivelmente maior para o cafezal sem irrigação.

Além das características produtivas, o manejo da irrigação afeta outros componentes morfofisiológicos do cafeeiro, tais como crescimento vegetativo e o desenvolvimento do sistema radicular, bem como a classificação e qualidade dos grãos. De acordo com Custódio, Lemos e Mingotte (2013), as supressões da irrigação no cultivo em determinadas épocas do ano, em especial nos meses de junho e julho, implicam em um maior crescimento inicial após a poda e, conseqüentemente, em maior produtividade total quando comparados com o café irrigado continuamente e não irrigado.

**TABELA 1:** Resultados econômicos dos diferentes tratamentos, custos e lucratividade anual, em reais (R\$) em estudo sobre a viabilidade técnica e econômica da irrigação no município de Araxá-MG.

Indicador	Custos ha <sup>-1</sup>								
	IAT	SI	SIAN	SIMN	SIJN	SIJLN	SIAGN	SISN	SION
Administração	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23	1.458,23
Adubação via solo	2.658,63	2.753,08	2.658,63	2.658,63	2.658,63	2.658,63	2.658,63	2.658,63	2.658,63
Adubação via foliar	325,05	364,18	325,05	325,05	325,05	325,05	325,05	325,05	325,05
Controle Pragas e Doenças	1.347,69	1.309,87	1.347,69	1.347,69	1.347,69	1.347,69	1.347,69	1.347,69	1.347,69
Controle de Plantas Daninhas	595,89	508,46	595,89	595,89	595,89	595,89	595,89	595,89	595,89
Tratos Culturais	148,58	92,53	148,58	148,58	148,58	148,58	148,58	148,58	148,58
Irrigação	900,00	-	225,00	300,00	375,00	450,00	525,00	600,00	675,00
Colheita	1.650,00	1.750,00	1.650,00	1.650,00	1.650,00	1.650,00	1.650,00	1.650,00	1.650,00
Pós-colheita	870,00	670,00	870,00	870,00	870,00	870,00	870,00	870,00	870,00
Comercialização	270,00	335,00	270,00	270,00	270,00	270,00	270,00	270,00	270,00
C.O.E	10.244,07	8.842,22	9.549,07	9.624,07	9.699,07	9.774,07	9.849,07	9.924,07	9.999,07
Depreciação	2.140,23	1.667,80	2.140,23	2.140,23	2.140,23	2.140,23	2.140,23	2.140,23	2.140,23
Remuneração	863,48	667,67	863,48	863,48	863,48	863,48	863,48	863,48	863,48
C.T	13.227,78	11.576,82	12.552,78	12.627,78	12.702,78	12.777,78	12.852,78	12.927,78	13.002,78
Produtividade média (sc.ben/ha)	56,00	34,00	36,00	39,00	40,00	41,00	46,00	49,00	48,00
R\$ ha/ano (saca de 60 kg = R\$ 400,00)	22.400,00	13.600,00	14.400,00	15.600,00	16.000,00	16.400,00	18.400,00	19.600,00	19.200,00
Resultado econômico anual (R\$/ha)	9.172,22	2.023,18	1.847,22	2.972,22	3.297,22	3.622,22	5.547,22	6.672,22	6.197,22

IAT – Irrigação o ano todo; SI – Sem irrigação; SIAN – Irrigação interrompida de abril a novembro; SIMN – Irrigação interrompida de maio a novembro; SIJN – Irrigação interrompida de junho a novembro; SIJLN – Irrigação interrompida de julho a novembro; SIAGN – Irrigação interrompida de agosto a novembro; SISN – Irrigação interrompida de setembro a novembro; SION – Irrigação interrompida de outubro a novembro. **Fonte:** Fernandes *et al.* (2016).

Em relação à localização da irrigação, a disponibilidade hídrica afeta o desenvolvimento radicular do café no perfil do solo, a fisiologia e as dimensões do sistema radicular do cafeeiro e os diferentes métodos de irrigação podem deixar estas mais concentradas ou distribuídas. Tal evento foi observado por Soares et al. (2005) ao comparar os perfis do solo, notando que o sistema radicular do cafeeiro não irrigado apresenta-se mais concentrado próximo ao caule, enquanto que nos cafeeiros irrigados o sistema radicular se encontrou melhor distribuído, especialmente nas faixas molhadas, o que demonstra que a irrigação promove melhores condições de desenvolvimento do sistema radicular no sentido horizontal. Os autores ainda afirmam que a irrigação localizada pode incrementar a produtividade média total em até 150%, se aplicada da forma adequada.

O manejo de irrigação também tem fundamental importância na classificação dos grãos de café, uma vez que afeta na qualidade do produto final e no retorno econômico para o produtor. Esse é outro fator que faz com que o emprego da irrigação se torne cada vez maior pelos cafeicultores, já que seus cultivos estão sujeitos às irregularidades das intempéries climáticas, as quais afetam diretamente nos estádios de floração e da expansão do fruto e, conseqüentemente, na qualidade dos grãos de café (SILVA et al., 2007).

Os regimes utilizados, seja com paralisações na irrigação ou não, influenciam na granulometria do grão do café. É notável em diversos estudos que a percentagem de grãos grandes e médios é altamente afetada, sendo que os grãos médios podem aumentar em até 57,9% em função da lâmina de irrigação, enquanto os grandes podem reduzir de 28,2% para 16,4%, não havendo mudanças na percentagem de grãos pequenos e mocas. O recomendado é 40% e 25% para as classes granulométricas “café médio” e “café grande”, respectivamente. Traduzem-se em bom percentual de café para exportação, uma

vez que os exportadores preferem grãos maiores, pois, assim, estão automaticamente eliminando defeitos (SILVA et al., 2007; CUSTÓDIO; GOMES; LIMA, 2007). Deve-se ter em mente que o mau manejo da irrigação pode elevar os percentuais de grãos verdes e ardidos devido à desuniformidade de maturação que a irrigação promove aos frutos no momento da colheita.

Segundo Moreira (2010), com o manejo da irrigação adequado, o rendimento de grãos, bem como os aspectos reprodutivos do cafeeiro, é superior ao cafeeiro não irrigado. O cafeeiro com regime hídrico utilizando da irrigação permite melhores resultados para a massa de frutos cereja e verdes de qualidade superior quando comparado com regime sem irrigação, especialmente nos regimes que tiveram paralisação na irrigação em determinados períodos, o que é mais interessante ao produtor, uma vez que deve ocorrer maior ganho econômico, tornando recomendável a aplicação dessas técnicas no cultivo.

Outra técnica que tem sido aplicada com resultados satisfatórios na produtividade e qualidade dos grãos é a realização da sincronização ou concentração da florada por meio do déficit hídrico alguns dias antes da floração, de modo que com o retorno da irrigação sejam quebradas a dormência das gemas do botão floral.

Os benefícios da aplicação desta técnica têm sido confirmados por vários estudos, os quais constatam que as plantas exibem valores de flores e inflorescências superiores aos regimes com irrigação plena e sem irrigação, fato que explica o maior quantitativo de frutos cerejas e verde encontrado em alguns estudos (MOREIRA, 2010). O emprego de irrigação contínua, sobretudo em períodos que antecedem a florada, pode levar ao atraso da formação do botão floral em relação a lavouras não irrigadas (DAMATTA et al., 2007; SILVA et al., 2009).

Na planta do café, os processos fisiológicos que antecedem a floração, quando em condições naturais, são estimulados pelas primeiras chuvas da estação chuvosa que eliminam a dormência das gemas. Porém, o fator externo desencadeador da indução floral ou antese pode ser temperatura, ou a água ou a soma dos dois (FIGUEIREDO, 2010; RONCHI et al., 2015).

No Brasil, de acordo com Ronchi *et al.* (2015), nos meses que antecedem o início da primavera há um desenvolvimento natural e rápido dos estádios dos botões florais, com uma taxa percentual diária de 1% de botões florais atingido o estágio E4. No entanto, a ocorrência de chuvas esporádicas e de baixa intensidade, geralmente próximas à primavera, contribui para a desuniformização da floração, uma vez que faz com que ocorram várias floradas, prejudicando no momento da colheita (DAMATTA et al., 2007; SILVA et al., 2009), a ocorrência destas chuvas também prejudica a prática de concentração de florada.

Sendo assim, deve-se ter em mente que as condições edafoclimáticas variam para cada região, portanto, para que não ocorra o comprometimento da produtividade da lavoura; o momento e o nível do déficit hídrico que devem ser aplicados será específico para cada região. Por exemplo, no Cerrado, em que ocorre uma estação seca bem definida na pré-florada, possibilita – conforme proposto por Guerra, Rocha e Rodrigues (2005) – a fixação de um calendário para a utilização do estresse hídrico controlado, aplicado em momento e intensidades adequadas nas lavouras irrigadas, o que contribui para a uniformização do florescimento e, conseqüentemente, da maturação dos frutos. Já a região do Sul do Estado de Minas Gerais, região tradicional na produção de café, apresenta distribuição pluviométrica irregular. Por esses fatos é que a pesquisa se torna ferramenta fundamental.

Segundo Silva *et al.* (2009), a paralisação da irrigação por 60 dias entre julho e agosto, nas regiões de Adamantina e Mococa no estado de São Paulo, permite a obtenção de déficit hídricos (-1,1 a -1,6 MPa) que favoreçam a sincronização das floradas do cafeeiro, proporcionando uniformidade com alta produção.

Sugestão similar foi a realizada por Guerra, Rocha e Rodrigues (2006), que propôs a paralisação da irrigação por cerca de 70 dias para sincronizar o desenvolvimento dos botões florais. Vale ressaltar que a proposta é pertinente para as regiões com épocas secas bem definidas, para submeter as plantas de café a um estresse hídrico moderado e permitir que haja sincronização do desenvolvimento das gemas reprodutivas, uniformidade de florada e maturação dos frutos, sendo o período entre os meses de junho e setembro o recomendado para o estabelecimento do estresse hídrico (GUERRA *et al.*, 2007).

Segundo Moreira (2010), o melhor regime hídrico para a região de Brasília seria com paralisação da irrigação 30 dias antes da provável colheita, uma vez que é o que traz maior relação custo benefício quando se trata da economia de água, energia elétrica e mão de obra.

Dessa forma, pode-se inferir com base nos vários estudos realizados que para a obtenção de maior produtividade e a obtenção de grãos de melhor qualidade se deve realizar o bom manejo da irrigação na cafeicultura, sendo importante ressaltar que se faz necessário um período de seca para a sincronização do florescimento e pegamento dos frutos, outro fato importante que reafirma este argumento é que a irrigação contínua proporciona a baixa uniformidade de produção das plantas (SILVA *et al.*, 2009).

A adoção de sistemas agroflorestais por cafeicultores de determinadas localidades tem sido crescente e tem se mostrado promissor, principalmente, conforme afirmam Souza *et al.* (2009a), por

questões de diversificação na produção agrícola na propriedade rural, uma vez que o café é um produto bastante vulnerável às variações de preço no mercado.

Outro aspecto para a adoção do consórcio do cafeeiro com diversas espécies vegetais é visando a melhoria dos aspectos ecofisiológicos do cafeeiro através do sombreamento, que proporciona melhorias nas condições microclimáticas, o que favorece menor amplitude de variação da temperatura do solo e do ar, manutenção da umidade do solo, proteção contra o impacto da água pelo excesso de chuva e granizos e minimização dos efeitos gerados pela força dos ventos, estabilidade da produção sem o risco de depauperamento do vegetal, melhoria do balanço hídrico, além da otimização da ciclagem de nutrientes. Há ainda a distribuição uniforme da energia radiante, o que contribui na obtenção de café de qualidade (COELHO et al., 2007; CAMARGO et al., 2007; SOUZA et al., 2009a; SOUZA et al., 2009b; CARBONIERI et al., 2013).

Nesses sistemas consorciados, a área do limbo foliar aumenta consideravelmente em relação aos cafeeiros cultivados a pleno sol, uma vez que a taxa de radiação fotossinteticamente ativa nestes sistemas é significativamente menor, o que demonstra a capacidade que a planta do café tem de se adaptar às condições do meio que o cerca (COELHO et al., 2007).

Em condições naturais o cafeeiro é uma cultura umbrófila, no entanto, no Brasil a maior parte do cultivo desta é conduzida a pleno sol, graças aos programas de melhoramento que permitiram a adaptação das plantas à elevada irradiância (CAMARGO et al., 2007; COELHO et al., 2007; LUNZ et al., 2007; SOUZA et al., 2009a; SOUZA et al., 2009b). Diferentemente do Brasil, na maior parte dos países produtores de café, incluindo os latinos americanos, a cafeicultura se encontra estabelecida

em regime de sombreamento em associação com diversas espécies sombreadoras (CAMARGO et al., 2007; SOUZA et al., 2009a).

No entanto, o sistema de cultivo a pleno sol traz alguns problemas, entre eles a bienalidade, na qual o cafeeiro alterna entre alta e baixa produtividade. O cultivo do cafeeiro a pleno sol tem apresentado problemas relacionados à bienalidade, a qual tem contribuído para o rápido esgotamento das plantas durante os primeiros anos de produção, devido ao excesso de frutos na planta, levando-as ao depauperamento (CAMARGO et al., 2007; SOUZA et al., 2009b). Entretanto, estes efeitos podem ser atenuados pela arborização de acordo com Camargo et al. (2007).

Diante do exposto, vários autores sugerem que a arborização consiste de uma estratégia para melhoria das condições microclimáticas do cafezal, pois, além do efeito direto na redução da radiação, altera o microclima e o balanço hídrico da lavoura como efeitos indiretos da disponibilidade de água no solo e na atmosfera (SOUZA et al., 2009b; SILVEIRA et al., 2015c).

Diversas espécies arbóreas são estudadas e utilizadas no consórcio com o café, dentre elas pode-se citar o mogno (*Khaya ivorensis*) (SILVEIRA et al., 2015c), a teca (*Tectona grandis*) (SILVEIRA et al., 2015c), acrocarpo (*Acrocarpus fraxinifolius*) (SILVEIRA et al., 2015c), o tremoço (*Lupinus albus* L.) (CARBONIERI et al., 2013), a seringueira (*Hevea brasiliensis* L.) (NASCIMENTO et al., 2006; CAMARGO et al., 2007; FREITAS et al., 2010), o coqueiro-anão verde (*Cocos nucifera* L.) para o *C. canephora* (SOUZA et al., 2009b), noqueira macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) para o *C. canephora* (SOUZA et al., 2009a), o abacateiro (*Persea americana*) (COELHO et al., 2007; LEMOS, 2008), o ingazeiro (*Inga edulis*) (COELHO et al., 2007; LEMOS, 2008), o vinhático (COELHO et al., 2007).

O plantio adensado dos cafezais tem sido utilizado, cada vez mais, pelos cafeicultores no Brasil, podendo apresentar-se nas mais diferentes densidades de plantio, com várias possibilidades de formas de arranjo e espaçamento entre as linhas e plantas. Elas se constituem de fundamental importância, uma vez que o modo de disposição das plantas cria microclima específico *in loco* e, conseqüentemente, altera o comportamento do ponto de vista morfofisiológico, afetando a arquitetura e crescimento das plantas, fisiologia e a produção. Portanto, quanto mais adensado for a lavoura, menor será a radiação solar incidente, provocando mudanças na temperatura, umidade e vento no interior do dossel (CUNHA; VOLPE, 2011; MORAIS et al., 2013).

Ferrão et al. (2009) afirmam que para o produtor a definição é de elevado interesse, uma que a densidade de plantas afetará todo o seu modo de trabalho, traçando linhas gerais para manejo. Ainda, segundo os autores, o espaçamento está dependente de uma série de fatores, entre eles o porte do cultivar a ser utilizada, a topografia do terreno, a altitude e clima, a realização ou não de poda, possibilidade de mecanização e o controle de doenças. No estado do Espírito Santo muitos produtores ainda apresentam resistência na adoção de sistema adensado devido às condições topográficas locais (SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 2008; FERRÃO et al., 2009).

O arranjo ou a melhor distribuição das plantas dentro das fileiras está tendendo à redução no espaçamento entre plantas, o que pode representar aumentos bastante significativos em produtividade por área (SANTINATO, FERNANDES; FERNANDES, 2008).

No cerrado mineiro a implantação das lavouras é realizada em filas ou renques abertos para permitir o cultivo e a colheita mecanizados, o que também facilita os tratamentos culturais, a tendência se deve à escassez de mão de obra para a colheita (MORAIS et al., 2013; RONCHI et al., 2015). O espaçamento geralmente aplicado é o de 4,0 x 0,5m, no caso

para cultivares de porte baixo, tais como Catuaí, amplamente cultivados no Cerrado (SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 2008; RONCHI et al., 2015).

No início de sua implantação, a cafeicultura paranaense adotava o sistema tradicional de cultivo utilizando plantio em covas com espaçamentos largos, 4,0 x 4,0m, mas isso ocorria em função de certas peculiaridades da época, tais como, alta fertilidade natural do solo, cultivares de porte alto e a exploração de culturas anuais intercalares. No entanto, a partir da década de 1990, os plantios passaram a ser feitos totalmente no sistema adensado (MORAIS et al., 2013).

Segundo Ronchi et al. (2015), as altas densidades populacionais na lavoura permitem a exploração completa do solo pelo sistema radicular do cafeeiro, tendo melhor aproveitamento de água e nutrientes, em camadas profundas ou superficiais do solo. Fato que provavelmente explica os resultados encontrados por Andrade et al. (2014), que avaliaram as combinações mais produtivas para uma mesma população de plantas por hectare, no qual os resultados mais expressivos para produtividade ocorreram nos tratamentos que utilizaram menor espaçamento de plantio, sobretudo nas primeiras colheitas. Ronchi et al. (2015) afirmam que em função disso há redução no gasto com fertilizantes, devido à melhoria na ciclagem de nutrientes em sistemas adensados.

As razões pelas quais não há o balanço desfavorável em sistemas adensados consistem: 1) devido ao sombreamento mútuo há redução da temperatura foliar e do solo, resultando em menor transpiração e evaporação do solo; 2) o sistema radicular nos plantios mais adensados tende a ser mais profundo permitindo o aproveitamento de água e nutrientes das camadas mais profundas do solo; e 3) menor desenvolvimento de plantas (REZENDE et al., 2009).

Alguns dos benefícios relatados por Ferrão et al. (2009) do plantio adensado é a manutenção da temperatura do solo nos dias frios de inverno, em função do efeito de autoproteção no sistema mais adensado, o que evitou a perda de calor do solo para atmosfera. A umidade relativa do ar tende a ser menor, o que é benéfico para *C. arabica*. O sistema pode reduzir a velocidade do vento em até 48%.

De acordo com Ronchi et al. (2015), o plantio adensado promove o melhor desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro havendo o aumento em massa de matéria seca, comprimento, volume e área superficial total de raízes por volume de solo, sem alterar o comprimento e a superfície específica de raízes, nem aprofundar o sistema radicular.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os avanços tecnológicos e científicos alcançados nos últimos anos na cafeicultura têm criado os meios necessários para que essa cultura possa continuar a se expandir para novas regiões, bem como enfrentar as mudanças climáticas, sem que haja prejuízos em sua produtividade ou redução na qualidade dos grãos e da bebida do café.

O estudo e a compreensão dos processos ecofisiológicos e metabólicos da cultura cafeeira auxilia na tomada de decisões, permitindo aos melhoristas selecionar o material genético, de acordo com as condições edafoclimáticas e necessidades regionais e locais. Permite aos produtores se adequarem ou adotarem práticas que levem ao aumento da produção ou atenuem os efeitos do clima e tempo sobre o cultivo, dentre elas, a adoção do manejo de irrigação, plantios adensados, sistemas de plantio consorciados, tratos culturais diferenciados, plantios em áreas mais altas ou baixas.

Para finalizar, vale ressaltar que é de suma importância a construção de uma rede de conhecimento, envolvendo a pesquisa, a extensão e os cafeicultores, de modo que haja a aplicabilidade dos dados gerados pela pesquisa, a transmissão do conhecimento ao produtor, a sua aplicação e, por fim, o *feedback*. Sem isso, o conhecimento fica relegado ao esquecimento.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, W. E. de B.; GUIMARÃES, P. T. G.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, R. J. Produtividade do cafeeiro arábica em condições de adensamento, no Noroeste Fluminense. **Coffee Science**, v. 9, 2014, p. 90–101.
- BALIZA, D. P.; CUNHA, R. L. da; CASTRO, E. M. de. BARBOSA, J. P. R. A. D.; PIRES, M. F.; GOMES, R. A. Gas exchange and adaptive structural characteristics of coffee plants grown in different levels of radiation. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, 2012, p. 250–258.
- BELAN, L. L.; SILVA, K. G.; TOMAZ, N. A.; JESUS JUNIOR, W. C.; AMARAL, J. A. T. do; AMARAL, J. F. T. do. Aspectos fisiológicos do cafeeiro conilon: uma abordagem sistemática. **Nucleus**, Ituverava, v. 8, n. 1, abr. 2011, p. 225–240.
- CAMARGO, F. T. de; FAVARIN, J. L.; BERNARDES, M. S.; LUNZ, A. M. P.; RIGHI, C. A.; ALVES, S. N. R.; REIS, A. R. Crescimento e maturação do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em um sistema arborizado e em monocultivo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais....** Brasília: Embrapa, 2007.
- CARBONIERI, J.; MORAIS, H.; SERA, G. H.; JOAQUIM, A.; SERA, T. Consórcio café x tremoço (*Lupinus albus* L.) como método para proteção de cafezais contra geadas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8. 2013, Salvador. **Anais....** Belo Horizonte: Embrapa Café, 2013.
- CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A. D.; ROSA, G. M. da. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo. **Enciclopédia Biosfera**: Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 91, n. 17, 2013, p. 969–985.
- COELHO, R. A.; MATSUMOTO, S. N.; BONFIM, J. A.; LEMOS, C. L.; CESAR, F. R. C. F.; SANTOS, M. A. F.; LIMA, J. M.; ARAUJO, G. da S.; GUIMARÃES, M. M. C.; FARIAS, D. da H. Teor de clorofila nas folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em monocultivo e dois sistemas agroflorestais em Barra do Choça, BA. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5. 2007, Águas de Lindóia. **Anais....** Brasília: Embrapa, 2007.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café**: Monitoramento agrícola. 4. ed. Brasília, 2017, p. 88.
- CUNHA, A. R. da; VOLPE, C. A. Growth curves of coffee fruits Obatã IAC 1669-20 in different alignments planting. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v. 32, n. 1, 2011, p. 49–62.
- CUSTÓDIO, A. A. de P.; GOMES, N. M.; LIMA, L. A. Efeito da irrigação sobre a classificação do café. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, 2007, p. 691–701.

- CUSTÓDIO, A. A. de P.; LEMOS, L. B.; MINGOTTE, F. L. C. Características vegetativas e produtivas de cafeeiro em diferentes supressões de irrigação e faces de exposição. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, 2013, p. 411–422.
- CUSTÓDIO, A. A. de P.; REZENDE, F. C.; FARIA, M. A. de. MORAIS, A. R. de; GUIMARÃES, R. J.; SCALCO, M. S.. Flower induction of coffee trees under Different irrigation managements. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, 2012, p. 20–30.
- DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal Of Plant Physiology**., Londrina, v. 19, n. 4, 2007, p. 485–510.
- FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C.; QUEIROZ-VOLTAN, R. B...; DIAS, A. A.; CAMARGO, M. B. P... de. Efeitos de níveis de luz na floração, frutificação e produtividade de plantas de Coffea arabica. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6. 2009, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2011.
- FERNANDES, A. L. T.; TAVARES, T. de O.; SANTINATO, F.; FERREIRA, R. T.; SANTINATO, R.. Technical and economic viability of drip irrigation of coffee in Araxá, MG. **Coffee Science**, Lavras, 2016, p. 347–358.
- FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, R. G.; MORELI, A. P.; SOUZA, E. M. R.; GUARÇONI, R. C.; CALIMAN, L. F. Comportamento do café arábica em diferentes densidades de plantio no Espírito Santo. In: VI SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, Vitória, ES, 2009. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2009.
- FIGUEIREDO, L. P.; BORÉM, F. M.; CIRILLO, M. A.; RIBEIRO, F. C.; GIOMO, G. S.; SALVA, T de J. G. The potencial for high quality Bourbon coffees from different environments. **Journal of Agricultural Science**, Canada, v. 5, n. 10, 2013, p. 87–98.
- GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C. Manejo de irrigação. Coeficientes de cultura para cafeeiros (Coffea arabica L) no cerrado. ABID. Revista ITEM, **Irrigação & Tecnologia Moderna**. V. 69/70. Brasília/DF. 2006, p. 81–86.
- GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C. Manejo do cafeeiro irrigado no Cerrado com estresse hídrico controlado. ABDID. Revista ITEM, **Irrigação & Tecnologia Moderna**, n. 65/66. Brasília/DF, 2005, p. 42–45.
- GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C.; SANZONOWICZ, C.; FILHO, G. C. R.; TOLEDO, P. M. R.; RIBEIRO, L. F. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. ABID. Revista ITEM, **Irrigação & Tecnologia Moderna**, n. 73. Brasília/DF, 2007, p. 52–61.
- LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ. H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M.; PAULA NETO, A. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, nov. 2007, p. 1521–1530.

- LEMOS, C. L. **Características morfofisiológicas e assimilação de nitrogênio em cafeeiros em sistema a pleno sol e associados com abacateiro (Persea americana) e ingazeiro (Inga edulis) em barra do choça, Bahia.** 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2008.
- LUNZ, A. M. P.; BERNARDES, M. S.; RIGHI, C. A.; COSTA, J. D. Modificações morfofisiológicas do cafeeiro sob diferentes níveis de disponibilidade de radiação solar. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5. 2007, Águas de Lindóia. **Anais....** Brasília: Embrapa, 2007.
- LUZ, M. P. P.; VOLTOLINI, G. B.; VOLPATO, M. M. L.; RIBEIRO, D. E.; TOSTA, M. F.; MIRANDA, F. M. de; GUIRALDELI, C.H. C.; SILVA, A. C. A. da; ALVES, A. P. C.; BORÉM, F. M. Comportamento agrometeorológico em áreas cafeeiras, em diferentes altitudes, no município de Carmo de Minas, MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9. 2015, Curitiba. **Anais....** Belo Horizonte: Embrapa Café, 2015.
- LUZ, M. P. S. **Estudo da relação de fatores climáticos com a qualidade do café na Mantiqueira de Minas.** 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. de. **Lesões no tronco de cafeeiros jovens.** 2017. Disponível em: <<https://www.cafepoint.com.br/radares-tecnicos/folha-procafelesoes-no-tronco-de-cafeeiros-jovens-104492n.aspx>>. Acesso em: 09 fev. 2018.
- MORAIS, H.; CARBONIERI, J.; SERA, T.; SERA, G. H.; ANDRÉ, J. Microclima de cafeeiros durante o inverno em dois espaçamentos de plantio. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8. 2013, Salvador. **Anais...** Belo Horizonte: Embrapa Café, 2013.
- MOREIRA, J. de A. **Produtividade e qualidade dos grãos de duas cultivares de cafeeiro orgânico submetidas a cinco regimes hídricos.** 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- NASCIMENTO, E. A.; CASTRO, E. M.; DELU FILHO, N.; MESQUITA, A.C.; VIEIRA, C. V. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, v. 36, n. 03, 2006, p. 852–857.
- PELOSO, A. F.; TATAGIBA, S. D.; AMARAL, J. F. T.; CAVATTE, P. C.; TOMAZ, M. A.. Efeito da aplicação de piraclostrobina no crescimento inicial de café arábica em diferentes disponibilidades hídricas. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 4, 2017, p. 498–507.
- PEZZOPANE, J. R. M.; CASTRO, F. da S.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. S. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, 2010, p. 341–348.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; CAMARGO, M. D.; FAZUOLI, L. C. Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, n. 32, v. 6, 2008, p. 1781–1786.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Diferenciação floral em cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) sob diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 3, p. 256–268, 2011.

RAKOCEVIC, M.; SCHOLZ, M. B. dos S.; CHARMETANT, P. Fotossíntese foliar de quatro genótipos de cafeeiros em resposta a irrigação ao longo de período bianual. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9. 2015, Curitiba. **Anais...** Belo Horizonte: Embrapa, 2015.

REZENDE, F. C.; DIAS, A. L. C.; SCALCO, M. S.; FARIA, M. A. de. Efeito da densidade de plantio e da irrigação na resistência estomática do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6. 2009, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2011.

RODRÍGUES-LÓPEZ, N. F.; CAVETTE, P. C.; SILVA, P. E. M.; MARTINS, S. C. V.; MORAIS, L. E.; MEDINA, E. F.; DAMATTA, F. M. Physiological and biochemical abilities of robusta coffee leaves for acclimation to cope with temporal changes in light availability. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 149, n. 1, set. 2013, p. 45–55.

RONCHI, C. P.; ARAÚJO, F. C. de; ALMEIDA, W. L. de. SILVA, M. A. A. da; MAGALHÃES, C. E. de O.; OLIVEIRA, L. B. de; DRUMMOND, L. C. D. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 1, 2015, p. 24–32.

SAKIYAMA, N. et al. **Café arábica do plantio a colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015, p. 316.

SAMPAIO NETO, G. D. **Manejo da irrigação por gotejamento na cultura do Café arábica**. 2012. 53 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Belo Horizonte: O Lutador, 2008, p. 476.

SANTOS, M. de O. **Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de frutos de cafeeiros cultivados em um gradiente de altitude na serra da Mantiqueira**. 2013. 78 f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SILVA, C. A. da; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. de. SILVA, C. J. da; RUFINO, M. da A. Efeito da irrigação por gotejamento no tamanho de grãos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2007.

SILVA, E. A. da; BRUNINI, O.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. de M. **Influência de déficits hídricos controlados na uniformização do florescimento e produção do cafeeiro em três diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo.** *Bragantia*, v. 68, 2009, p. 493–501.

SILVEIRA, H. R. de O. **Variação sazonal de atributos ecofisiológicos e metabólicos de café arábica em três altitudes.** 2014. 73 f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SILVEIRA, H. R. de O.; ANDRADE, L. N. de; SOUZA, K. R. D. de. SANTOS, M. de O.; ANDRADE, C. A.; BOMFIM, S. C.; ALVES, J. D. Técnicas de extração de conhecimento aplicadas à identificação do comportamento do crescimento e desenvolvimento de cafeeiros em três altitudes. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9. 2015, Curitiba. **Anais...** Belo Horizonte: Embrapa Café, 2015a.

SILVEIRA, H. R. de O.; SOUZA, K. R. D. de; SILVA, D. M. da; ANDRADE, C. A.; BOAS, L. V. V.; CAMPOS, C. N., ALVES, J. D. Variação sazonal do metabolismo de carboidratos em café arábica em três altitudes. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9. 2015, Salvador. **Anais...** Belo Horizonte: Embrapa Café, 2015b.

SILVEIRA, H. R. de O.; SANTOS, M. de O.; SILVA, V. A.; VENTURIN, R. P.; MOREIRA, F. C.; DANTAS, M. F.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; VOLPATO, M. M. L. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros consorciados com espécies madeireiras no sul de minas gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9. 2015, Salvador. **Anais...** Belo Horizonte: Embrapa Café, 2015c.

SOARES, A. R.; MANTOVANI, E. C.; RENA, A. B.; COELHO, M. B.; SOARES, A. A. Influência da irrigação localizada sobre o desenvolvimento radicular do cafeeiro em solos de Patrocínio Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4. 2005, Londrina. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2005.

SOUZA JÚNIOR, E. A. de; Silveira, H. R. de O.; Silva, V. A.; Castro, E. M. de; Colares, M. F. B.; Lima, L. A.; Oliveira, P. M. de. Aspectos morfofisiológicos de café conilon e arábica cultivados em região semiárida. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7. 2011, Araxá. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2011, p. 1-1.

SOUZA, J. M. de; PEZZOPANE, J. R. M.; CZEPAK, M. P.; GASPARI-PEZZOPANE, C. de; OLIVEIRA, R. J. de. Crescimento vegetativo do cafeeiro conilon arborizado com nogueira macadâmia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6. 2009a, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2011.

SOUZA, J. M. de; PEZZOPANE, J. R. M.; GASPARI-PEZZOPANE, C. de; FERRARI, W. R.; MONTEIRO, K. R.; MARSETTI, M. M. S. Crescimento vegetativo do cafeeiro conilon consorciado com coqueiro anão verde. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6. 2009b, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2011.

SOUZA, L. F. de. **Utilização da variação dendrométrica como indicador para o manejo da irrigação de plantas de café. 2009.** 75 f. Tese (Doutorado) – Curso de Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2009.

ZHU, J. T. LI, X. Y.; ZHANG, X. M.; ZENG, F. J.; LIN, L. S.; YANG, S. G.; GUI, D. W. WANG, H. Ecophysiological adaptation of *Calligonum roborovskii* to decreasing soil water content along an altitudinal gradient in the Kunlun Mountains, Central Asia. **Russian Journal of Plant Physiology**, New York, v. 57, n. 6, p. 826–832, Nov. 2010.

## **7. ECOFISIOLOGIA DA MAMONEIRA**

Leila Leal da Silva Bonetti

João Paulo Tadeu Dias

Rosa Maria Guerra Diniz

O Brasil desponta-se como potência energética e ambiental mundial pela riqueza em alternativas de produção das mais variadas fontes e por contribuir para o progresso socioeconômico da população, mantendo uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo.

Apesar de ser uma preocupação mundial, o combustível fóssil continua ocasionando graves problemas ao meio ambiente, com forte ênfase para o efeito estufa. Entretanto, avanços na tecnologia proporcionam produção de combustível a partir de plantas, entre elas, a mamoneira (*Ricinus communis* L.) bastante adaptada às condições edafoclimáticas, com cultivo em várias regiões do Brasil.

A mamoneira, planta pertencente à família *Euphorbiaceae*, é uma oleaginosa de alto valor socioeconômico que ganha espaço no cenário mundial por apresentar inúmeras aplicações na indústria, e o destaque é para sua utilização na produção de biodiesel, um combustível biodegradável e renovável. Atualmente, os maiores produtores de mamona são a Índia, a China e o Brasil, que concentram o foco na produção de biodiesel.

A espécie adaptou-se tão bem às condições brasileiras que vem expandindo-se para várias regiões do país, desde o Rio Grande do Sul até o Amazonas, com crescimento subespontâneo em áreas rurais cuja vegetação nativa original foi removida e, também, em terrenos não edificados de áreas urbanas (AZEVEDO et al., 1997).

Oliveira et al. (2010) relatam que o cultivo da mamona se tornou uma cultura do agronegócio, promissora na região Sul do Brasil, pois, o estado do Rio Grande do Sul tem recebido incentivos governamentais para expandir o seu cultivo. Para Savy Filho (2005), o sucesso dessa iniciativa está condicionado à geração de tecnologias de produção da matéria-prima.

A mamoneira é considerada a alternativa mais difundida pela agricultura familiar para a produção de biodiesel por apresentar elevado teor de óleo nas sementes, além de ser uma planta tolerante a diversas condições edafoclimáticas e adaptada à região do semiárido (AZEVEDO et al., 1997). LACERDA et al. (2009) informam sobre a demanda hídrica da mamona, que varia entre 750 e 1.500 mm (7.500 a 15.000 m<sup>3</sup>.ha<sup>1</sup>), e que no período que antecede a floração a planta precisa receber de 400 a 500 mm de água. Barros Júnior et al. (2008) ressaltam que a mamoneira transforma os insumos em produção efetiva de matéria seca, com maior produção de frutos por área cultivada em situação de solo mantido à capacidade de campo (100% de água disponível), com manejo e aplicação de insumos necessários ao desenvolvimento da cultura.

Para D. N. et al. (2009), a mamoneira, que é exigente em umidade nos seus estádios iniciais de crescimento, necessita passar por um período seco nos estádios de maturação e secagem dos frutos.

Ribeiro et al. (2009) revelam que produtos e subprodutos da mamoneira são utilizados na indústria ricinoquímica e na agricultura. A possibilidade de seu uso como biocombustível se dá pelo óleo que é extraído de suas sementes, porém, apesar de seu alto potencial, sua produtividade em grãos ainda é baixa.

Santos et al. (2007) asseguram que o cultivo da mamoneira é uma contínua fonte de renda, importante para fixação do homem no campo em um período de escassez de chuvas.

Embora seja considerada uma planta rústica, o seu desenvolvimento se dá em locais de clima seco, sendo pouco exigente quanto à disponibilidade de água, e de acordo com Savy Filho (2005), o seu crescimento é contínuo, numa disposição simpodial.

Há grande variabilidade em diversas características apresentadas pelas plantas da espécie, tais como: hábito de crescimento, cor das folhas e do caule, tamanho, cor e teor de óleo das sementes. Essas características permitem a localização de tipos botânicos com porte baixo ou arbóreo, ciclo anual ou semiperene, caule e folhas de coloração verde, vermelha ou rosa, presença ou ausência de cera no caule, frutos com ou sem espinhos, deiscentes ou indeiscentes, sementes de diversos tamanhos e colorações e diferentes teores de óleo (COSTA *et al.*, 2014).

Enquanto os primeiros racemos já se encontram maduros, outros ainda estão em formação (MOSHKIN, 1986), pois, os períodos vegetativo e reprodutivo não são determinados. O desenvolvimento de ramificações secundárias e terciárias é variável, de acordo com o material genético utilizado, o nível de competição entre plantas em função da

densidade e o arranjo de plantas no ambiente de cultivo (SORATTO et al., 2011; SOUZA-SCHLICK et al., 2011).

Fioreze et al. (2016) relatam que o hábito de crescimento da cultura da mamona proporciona competição entre drenos após o início da formação do racemo primário, que coincide com o início do desenvolvimento dos ramos secundários, os quais dependem do ramo primário até o desenvolvimento de seu próprio aparato fotossintético. Com a retirada das gemas vegetativas que originam tais ramos, há um redirecionamento de assimilados para o racemo primário em formação e, conseqüentemente, há um desequilíbrio no sistema hormonal da planta. O racemo primário se desenvolve mais, tanto em crescimento quanto em diferenciação de gemas reprodutivas resultando na formação de flores femininas e, conseqüentemente, em maior produção de frutos e grãos.

É possível, pela análise de crescimento da mamoneira – e também pela utilização de parâmetros fisiológicos e elementos climáticos, edáficos e fitotécnicos – identificar diferenças entre as cultivares e estabelecer relações entre a planta e o ambiente (CRUZ et al., 2010; SAMPAIO FILHO, 2011). De acordo com Medici et al. (2007), Oliveira et al. (2009) e Freitas et al. (2010), independentemente do genótipo da planta e da intensidade do déficit hídrico, processos como abertura estomática, fotossíntese e o crescimento podem ser, diferentemente, afetados.

Ainda que muitos trabalhos de pesquisa sejam realizados com a finalidade de avaliar e aumentar o potencial produtivo da mamoneira (SILVA et al., 2007; SOUZA et al., 2007; ZUCHI et al., 2010; RIBEIRO et al., 2009), o Brasil necessita de investimentos na área tecnológica para melhorar os seus rendimentos médios.

Deve-se ter um cuidado especial com os solos explorados em pequenas propriedades, porque existe uma falsa ideia de que a mamoneira é pouco exigente em adubação, sendo a fertilização muito necessária (SOUZA et al., 2007). A mamoneira desenvolve-se e produz bem em vários tipos de solo, entretanto, solos com textura muito argilosa, que apresentam deficiência de drenagem e aeração, tendem a limitar o seu crescimento (COSTA et al., 2014). Nakagawa e Neptune (1971) relatam que plantas de mamona são extremamente exigentes em nutrição e que, para produzirem uma tonelada de grãos, conseguem extrair até 40 kg de N; 9 kg de  $P_2O_5$  e 16 kg de  $K_2O$  por hectare.

O sistema radicular da mamoneira aumenta a aeração, retenção e distribuição da água no solo por ser capaz de explorar as camadas mais profundas da terra; entretanto, em solos salinizados o seu crescimento e produtividade são afetados (COSTA et al., 2014).

Em condições climáticas adversas, como baixa precipitação, é interessante a semeadura de variedades adaptadas, pois, nestas condições, as plantas de mamona, no início do crescimento vegetativo, destinam parte considerável de sua energia para a produção de fitomassa radicular, com o desenvolvimento de um sistema radicular mais vigoroso e profundo, permitindo explorar e absorver nutrientes em regiões onde a água é o fator climático limitante (GONÇALVES et al., 2005).

A maior exigência de água dessa oleaginosa ocorre antes da floração, no entanto, entre os períodos de floração e maturação dos frutos, o desenvolvimento do mofo-cinzento pode ser favorecido por alta umidade relativa e temperaturas na faixa de 20-24°C (COSTA et al., 2014). Trabalhos realizados por Zuchi et al. (2010) evidenciaram que plantas de mamona cultivadas em condições ambientais com longos períodos de estiagem tem o peso de seus grãos reduzido.

Apesar de sua condição de planta rústica, como alguns a consideram, em lugares de baixa precipitação pluvial consegue-se alcançar boa produção de fitomassa (BARROS JÚNIOR et al., 2008; COSCIONE; BERTON, 2009), e esta característica foi a que mais favoreceu sua disseminação pelo mundo (CARVALHO et al., 2010).

A mamoneira apresenta bom desenvolvimento em uma faixa de temperatura entre 20-35°C, mas o seu pico ótimo de desenvolvimento se dá em torno de 28°C. Diante de temperaturas muito elevadas, como a 40°C, podem ocorrer situações como aborto das flores, reversão sexual das flores femininas em masculinas, aborto de sementes (sementes chochas) e redução do teor de óleo. Já em temperaturas abaixo de 20°C pode ocorrer redução na velocidade de enchimento das sementes e aumento na duração do ciclo (COSTA et al., 2014).

A semente de mamona é constituída de 75% de amêndoa e 25% casca, em termos médios, mas a sua composição química muda de acordo com a variedade e região de cultivo. O teor de óleo nas sementes situa-se entre 35% e 55%, sendo que 44% é a porcentagem comercial considerada padrão. O óleo, bastante estável em variadas condições de pressão e temperatura, é o mais importante constituinte da semente de mamona. O grupo hidroxila confere ao óleo da mamona a propriedade de álcool. O ácido ricinoleico  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$  é o seu maior componente (COSTA et al., 2004).

A produção da mamona é praticamente toda industrializada, resultando no óleo, como produto principal, e na torta de mamona, como coproduto da produção de biodiesel, o qual é importante pela capacidade de restaurar terras esgotadas COSTA et al. (2004) e por ser potencialmente, um fertilizante orgânico e condicionador de solo, dentre outras aplicações.

Ainda, de acordo com Costa et al. (2004), a partir da semente completa (sem descascar) ou da baga (semente descascada por meio de máquinas apropriadas) é feita a extração do óleo, que pode ser realizada pelo método da prensagem, a frio ou a quente, além de extração por solvente.

O óleo de mamona, pela sua importância, é utilizado em diversas aplicações: na fabricação de tintas e isolantes, como lubrificante na aeronáutica, como base na manufatura de cosméticos e de muitos tipos de drogas farmacêuticas. É relevante, ainda, em vários processos industriais, como a fabricação de desinfetantes, germicidas, óleos lubrificantes de baixa temperatura, corantes, anilinas, colas e aderentes, e também, como base para fungicidas e inseticidas, tintas de impressão e vernizes, além de nylon e matéria plástica (COSTA et al., 2004). Azevedo et al. (1997) relatam que o óleo contido na semente da mamona tem sido a razão de interesse, desde remota data, pela sua utilização como combustível de lamparina para iluminação, em mistura com pigmentos para enfeitar os corpos de guerreiros tribais, além de seu relevante papel na confecção de cosméticos, cremes para proteção da pele e laxativos.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Embora o Brasil esteja passando por uma crise econômica de caráter predominantemente interno – causada por inúmeros fatores, entre eles, as demandas em expansão devido ao intenso crescimento demográfico – novos hábitos alimentares, a produção de biocombustível a partir de cultivos essenciais para a alimentação e o impacto oriundo das mudanças no clima – questões que tratam sobre a produção dos biocombustíveis ocupa o foco das atenções, não somente nacionais, mas também internacionais. Isso porque o preço do petróleo aumenta excessivamente, e as discussões seguem com o objetivo de reduzir

as emissões de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, o efeito estufa pelo uso de energias renováveis.

Assim é que tecnologias envolvendo a fabricação de óleos vegetais, tendo como matéria-prima a soja, o amendoim, o girassol, o dendê e a mamona, dentre outras espécies oleaginosas, vêm sendo desenvolvidas, inclusive para o processo de produção de biodiesel direto da semente. Este avanço nas pesquisas permite a redução de custos na cadeia produtiva de biodiesel, que pode ser produzido a partir das sementes de qualquer planta oleaginosa e por dispensar a etapa de extração do óleo.

Porém, de acordo com Freitas (2018), o uso da mamona – amplamente incentivado no Brasil para a produção de biodiesel, resultou em um processo de difícil produção do biodiesel – e, também, da qualidade do combustível obtido que não era adequada, o que vem afetando o seu uso industrial no Brasil, principalmente, porque o óleo de mamona apresenta um grupo hidroxila na cadeia carbônica do ácido ricinoleico, que compõe cerca de 90% do óleo de mamona.

De acordo com Suarez et al. (2006), tal característica química promove uma maior viscosidade e densidade ao óleo e ao biodiesel, não atendendo às propriedades desejadas do biocombustível.

Diante disso, torna-se premente a necessidade de estudos que avaliem a viabilidade técnica e econômica e a qualidade do biocombustível obtido da extração do óleo de mamona, com o objetivo de melhorar o seu processamento e suas propriedades finais.

## REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, D. M. P. et al. **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) no nordeste do Brasil**. Campina Grande: EMBRAPA CNPA, 1997. p. 39. (EMBRAPA-CNPA. Circular Técnica, 25).
- BARROS JUNIOR, G. et al. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, 2008, p. 350–355.
- CARVALHO, E. V. et al. Densidade de plantio em duas cultivares de mamona no sul de Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, 2010, p. 387–392.
- COSTA, A.G. F. et al. **Cultivo da mamoneira**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Campina Grande: Embrapa Algodão, Julho, 2014 (Circular Técnica 136).
- COSTA, H. M. et al. Efeito do Óleo de Mamona em Composições de Borracha Natural Contendo Sílica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 14, n. 1, 2004, p. 46–50.
- COSCIONE, A. R.; BERTON, R. S. Barium extraction potential by mustard, sunflower and castor bean. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 1, 2009, p. 59–63.
- CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C. Crescimento e produtividade de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura no Oeste da Bahia. 2010. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 1, jan. / fev. 2010, p. 33–42.
- DINIZ, B. L. M. T.; TÁVORA, F. J. A. F.; DINIZ NETO, M. A. Manipulação do crescimento da mamoneira através da poda em diferentes densidades populacionais. **Revista Ciências Agronômicas**, Fortaleza, v. 40, n. 4, out. / dez. 2009, p. 570–577.
- FIOREZE, S. L. et al. Características agrônômicas da mamoneira afetadas pelo método de condução de plantas e densidade de semeadura. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, jan. / mar., 2016, p. 86–92.
- FREITAS, R. C. **Biodieselbr 2008**. Disponível em <http://www.biodieselbr.com/noticias/bio/governo-informa-materiasprimas-usinas-13-01-09.htm>. Acesso em: fev. 2018.
- FREITAS, C. A. S. et al. Comportamento de cultivares de mamona em níveis de irrigação por gotejamento em Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, 2010, p. 1059–1066.
- GONÇALVES, N. P. et al. Cultura da Mamoneira. **Informe Agropecuário**, v. 26, 2005, p. 28–32.
- LACERDA, R. D. de; GUERRA, H. O.; BARROS JÚNIOR, G. Influência do déficit hídrico e da matéria orgânica do solo no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS

188 - Paraguaçu. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 4, out. / dez. 2009, p. 440–448.

MEDICI, L. O. et al. Stomatal conductance of maize under water and nitrogen deficits. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, 2007, p. 599–601.

MOSHKIN, V. A. Ecology. In: MOSHKIN, V. A. (Ed.). **Castor**. New Delhi: Amerind, 1986, p. 54–64.

NAKAGAWA, J.; NEPTUNE, A. M. L. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.) cultivar Campinas. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 28, 1971, p. 323–337.

OLIVEIRA, C. J. et al. Crescimento de cultivares de mamoneira sob condições de irrigação em Mossoró-RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, out–dez. 2009, p. 27–33.

OLIVEIRA, J. P. M. et al. Adubação fosfatada para cultivares de mamoneira no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 8, ago., 2010, p.1835–1839.

RIBEIRO, S. et al. Resposta da mamoneira cultivar BRS-188 Paraguaçu à aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 4, 2009, p. 465–473.

SAMPAIO FILHO, O. M. et al. Análise descritiva de cultivares de mamoneira em dois anos de cultivo no recôncavo baiano. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, Rio Grande, v. 6, n.1, 2011, p. 28–34.

SANTOS, R. F. et al. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de (eds). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande, PB – 2. ed. ev. amp. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007, p. 119–137.

SAVY FILHO, A. **Mamona**: tecnologia agrícola. Campinas: EMOPI, 2005, p. 105.

SILVA, T. R. B. et al. H. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, 2007, p. 1357–1359.

SORATTO, R. P. et al. Espaçamento e população de plantas de mamoneira de porte baixo para colheita mecanizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 3, 2011, p. 245–253.

SOUZA, A. dos S. et al. Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. I - crescimento e produtividade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, 2007, p. 422–429.

SOUZA-SCHLICK, G. D. et al. Desempenho da mamoneira IAC 2028 em função do espaçamento entre fileiras e população de plantas na safrinha. **Bragantia**, v. 70, n. 3, 2011, p. 452–456.

SUAREZ, P. A. Z.; Meneghetti, S. M. P.; Ferreira, V. F. Quim. **Nova**, n. 29, 1157, 2006.

ZUCHI, J. et al. Componentes do rendimento de mamona segundo a ordem floral e época de semeadura no Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, 2010, p. 380–386.

## **8. ECOFISIOLOGIA DA SOJA**

Clélia Aparecida Iunes Lapera

Max Whendell de Paula Lima

Muriel Silva Vilarinho

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é perfeitamente adaptada às condições brasileiras, dispondo de elevada tecnologia nacional, alcançando produtividades agrícolas em torno de 3.000 a 6.000 kg de soja por hectare, ou seja, de 50 a 100 sacas de 60 kg por hectare. As principais regiões produtoras do Brasil são as que recebem grandes quantidades de energia solar, temperatura e precipitação. Os principais estados são Mato Grosso, maior produtor brasileiro, com produção de 30,514 milhões de toneladas, área plantada com 9,323 milhões de hectares, com produtividade de 3.273 kg /ha; o segundo estado é o Paraná com produção de 19,534 milhões de toneladas, área plantada

com 5,250 milhões de hectares, com produtividade 3.721 kg/ha; e o terceiro produtor o Rio Grande do Sul com produção de 18,714 milhões de toneladas, com área plantada de 5,570 milhões de hectares e produtividade de 3.360 kg/ha (CONAB, 2017). Outros estados expressivos na produção de soja são Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo e a região conhecida como “MaToPiBa”, que engloba os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

Os altos resultados de produtividade acima apresentados só foram possíveis devido a estudos baseados na interação entre os fatores ambientais e edáficos. O objetivo deste capítulo é apresentar os principais fatores envolvidos na produção de soja em todo o ciclo da cultura.

O termo “ecofisiologia” é interpretado como o estudo de como os organismos funcionam e respondem a mudanças em seus ambientes naturais. É um ramo da fisiologia comparativa que estuda a diversidade fisiológica em relação ao ambiente e suas implicações naturais. Abaixo serão apresentados os fatores que afetam a produtividade e a qualidade da soja.

1 – Fatores genéticos – adaptação ao clima de cultivo; adaptação ao solo de cultivo; ciclo da cultura; retenção de elementos nutritivos; adaptação a pragas e doenças; características físicas do grão (forma, cor e tamanho); características sensoriais do grão (consistência, pigmentação, sabor); composição química do grão e produtividade (SANTOS et al., 2017).

2 – Fatores ambientais – que englobam os fatores climáticos e os edáficos, estão associados ao ambiente de cultivo, como incidência de luz, temperatura e as condições do solo.

2.1 – Os fatores climáticos: A temperatura ideal para o desenvolvimento da soja é entre 20 - 30°C, e em relação a floração é acima de 13°C.

Na maturação, altas temperaturas e excesso de umidade podem contribuir para diminuição na qualidade do grão e, quando associadas a condições de baixa umidade, predisõem a danos mecânicos durante a colheita. Temperaturas baixas na fase da colheita, associadas à período chuvoso, podem provocar atrasos na coleta da produção, além de haste verde e retenção foliar (EMBRAPA, 2014). A radiação solar está relacionada com a fotossíntese, alongação de haste principal e ramificações, expansão foliar e fixação biológica; para o total de fitomassa seca produzida pela soja, depende da percentagem de radiação fotossinteticamente ativa interceptada e da eficiência de utilização dessa energia pelo processo fotossintético (CÂMARA, 2000). Em contrapartida, altas intensidades de radiação solar absorvidas pelas plantas podem levá-las à saturação luminosa, diminuindo a eficiência no uso da radiação e a produtividade da cultura (JIANG *et al.*, 2004; ADAMS; ADAMS, 1992 *apud* SANTOS *et al.*, 2017). A necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo. Tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas, em outras palavras, diminui a qualidade e produtividade do grão (EMBRAPA, 2014). Porém, segundo Müller (1981 *apud* SANTOS *et al.*, 2017) o excesso de água gera perdas, prejudicando a aeração do solo e causando o apodrecimento das raízes, ou seja, pode diminuir significativamente a produtividade da cultura.

2.2 – Fatores edáficos: Segundo Embrapa (2014), para o desenvolvimento do grão de soja há a necessidade de quantidades ideais de nutrientes como o nitrogênio, potássio, fósforo, enxofre e o cálcio. No caso de deficiência do nitrogênio, resulta em menor quantidade de proteínas e carboidratos estocados, além de afetar o crescimento e florescimento da cultura (MARSCHNER, 1995); a deficiência de potássio, resulta em menor formação de carboidratos, síntese de proteína e resistência à doenças;

a deficiência de fósforo ocasiona menor desenvolvimento vegetativo, produtividade, qualidade e senescência precoce; a deficiência de enxofre resulta em menor síntese de proteína e aminoácidos sulfurados (metionina e cistina); e com a deficiência de cálcio, ocorre a morte das raízes e diminuição do crescimento (MALAVOLTA, 2006). Segundo Oliveira (2007), a ausência de nutrientes prejudica o desenvolvimento da planta e a produção de grãos e, dessa forma, diminui produtividade e a qualidade dos grãos. De acordo com Malavolta (1980), o pH do solo ideal para o cultivo da soja encontra-se na faixa entre 5,9 – 6,5. O pH afeta a disponibilidade de nutrientes no solo, abaixo do ideal, e o aproveitamento de nitrogênio e potássio, por exemplo, diminui; se o solo estiver muito ácido, significa que há um alto teor de alumínio tóxico, o que é prejudicial para o desenvolvimento radicular; comprometendo a produtividade do grão, e se o pH for muito baixo, compromete a produtividade (BRAGA, 2012).

As mudanças meteorológicas de cada região, o tipo de solo, a época de plantio e o ciclo da cultura identificam e permitem agrupar os estádios de desenvolvimento e relacionar as necessidades específicas durante o ciclo da cultura da soja.

A identificação fenológica única, objetiva, precisa e universal facilita a linguagem científica entre o público envolvido com a cultura da soja descrevendo qualquer genótipo. Feher e Caviness (1977) descrevem os estádios de desenvolvimento. A descrição dos estádios de desenvolvimento de Feher e Caviness (1977) é a mais utilizada no mundo inteiro por apresentar todas essas características, identificando precisamente o estágio de desenvolvimento em que se encontra uma planta ou uma lavoura de soja. Essa descrição facilita a condução da cultura e minimiza ou mesmo elimina os problemas que poderão surgir durante o ciclo desta.

O sistema proposto por Fehr e Caviness (1977) divide os estádios de desenvolvimento da soja em estádios vegetativos e estádios reprodutivos. Os estádios vegetativos são designados pela letra “V” e os reprodutivos pela letra “R”.

Com exceção dos estádios VE (emergência) e VC (cotilédone), as letras “V” e “R” são seguidas de índices numéricos que identificam estádios específicos, nessas duas fases do desenvolvimento da planta. A escala fenológica, subdivide a fenologia em duas grandes fases: vegetativa e reprodutiva.

Em condições favoráveis, a germinação da soja é rápida; a primeira parte romper o tegumento da semente é a radícula e ocorre entre um a dois dias após a semeadura. O desenvolvimento da raiz primária prossegue, de maneira que, entre quatro e cinco dias após a semeadura, surgem as primeiras ramificações laterais e os pelos absorventes. A medida que se verifica o crescimento da raiz, ocorre o alongamento do hipocótilo, formando uma alça ou gancho, que conduz os cotilédones em direção à superfície do solo, caracterizando a emergência epígea da soja (FEHR; CAVINESS, 1977).

Rompida a superfície do solo, afloram os cotilédones e a plúmula (folhas primárias). Em seguida, os cotilédones se abrem, expondo a plúmula à luz solar. A emergência da soja (VE) tem início, normalmente, de cinco a sete dias após a semeadura.

Os cotilédones assumem coloração verde e são os principais responsáveis pela nutrição da plântula, durante aproximadamente duas e três semanas após a emergência. Após a abertura dos cotilédones, o epicótilo, contendo a plúmula em sua extremidade, prossegue o desenvolvimento em altura. Como resultado, observa-se a emissão e a abertura de um par de folhas opostas, também conhecidas como folhas primárias ou unifolioladas (estádio VC), assim denominadas

por apresentarem um único folíolo. A partir da emissão das folhas unifolioladas, a soja passa a formar somente as folhas verdadeiras ou trifolioladas (compostas por três folíolos), com inserção alternada ao longo do caule e dos ramos.

O crescimento das raízes ocorre durante toda a fase vegetativa do ciclo de vida da planta, cessando a partir do início do florescimento. A formação de nódulos tem início normalmente aos 7 a 10 dias após a emergência da planta (estádio VC), tornando-se visíveis e mais capazes de lhe fornecer nitrogênio, a partir do primeiro trifólio expandido (V2). As pragas iniciais da soja (perfuradoras e mastigadoras) atacam a cultura já desde a fase de semente e prosseguem até o estágio V5, podendo causar danos severos ao estande inicial, o que se refletirá em quebra de produtividade. Esta também pode ocorrer devido à infecção de sementes ou das plantas jovens por fungos do solo e do ar. Por isso, antes do plantio, muitos produtores tratam as sementes com fungicidas e inseticidas (NEUMAIER, 2000).

A partir do quarto trifólio expandido, a planta acelera o acúmulo de matéria seca e de nutrientes em sua parte aérea, o que justifica algumas estratégias de manejo adotadas entre os estádios V2 e V4, como, por exemplo, a pulverização foliar de cobalto e molibdênio, essenciais ao processo de fixação biológica do nitrogênio. Também nesses estádios é que se aplica potássio em cobertura e se faz o manejo químico, em pós-emergência, das plantas daninhas. A partir do estágio V6, a cultura da soja torna-se mais atrativa aos insetos desfolhadores (lagartas), devendo-se iniciar o levantamento da população de pragas, por meio de amostragens com o pano de batida, com vistas a efetivar-se o manejo integrado de pragas (FEHR; CAVINESS, 1977).

**Tabela 1:** Descrição resumida dos estádios fenológicos vegetativos da soja

Estádio		Descrição
Símbolo	Denominação	
V <sub>E</sub>	Emergência	Os cotilédones estão acima da superfície do solo
V <sub>C</sub>	Cotilédone desenvolvido	Cotilédones totalmente abertos
V <sub>1</sub>	Primeiro nó	As folhas unifolioladas estão completamente abertas
V <sub>2</sub>	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada aberta
V <sub>3</sub>	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada aberta
V <sub>n</sub>	Enésimo nó	“Enésimo” nó ao longo da haste principal com trifólio aberto

**Fonte:** Fehr e Caviness (1977)

O início do florescimento (Tabela 2) da soja é caracterizado pela abertura de uma flor em qualquer nó da haste principal (estádio R1). A partir desse instante, acompanha-se a evolução fenológica observando-se as estruturas reprodutivas da soja: flores, frutos e sementes.

O pleno florescimento (R2), caracterizado pela abertura de várias flores ao longo da haste principal, pode ocorrer simultaneamente; isto é, no mesmo dia do início do florescimento (R1), no caso das plantas com hábito de crescimento determinado, ou entre dois e sete dias após o R1, em plantas com hábito de crescimento indeterminado típico. Não há uma transição definida entre os períodos de florescimento e frutificação. Essa última (R3) inicia-se, conforme o genótipo, entre 7 e 15 dias após o início do florescimento. No estágio R3 as vagens situadas no terço superior da haste principal encontram-se com até 1,5 cm de comprimento. Nessa fase, verifica-se o declínio do florescimento (FEHR e CAVINESS,1977).

**Tabela 2:** Descrição resumida dos estádios fenológicos reprodutivos da soja

Estádio		Descrição
Símbolo	Denominação	
R <sub>1</sub>	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó da haste principal
R <sub>2</sub>	Florescimento pleno	Maioria das inflorescências da haste principal com flores abertas
R <sub>3</sub>	Início da frutificação	Vagens com 0,5 a 1,5 cm de comprimento no terço superior da haste principal
R <sub>4</sub>	Frutificação plena	Maioria das vagens no terço superior da haste principal com comprimento de 2 a 4 cm ("carnivete")
R <sub>5.1</sub>	Início da granação	Até 10% da granação máxima na maioria das vagens localizadas no terço superior da haste principal
R <sub>5.2</sub>		Maioria das vagens no terço superior da haste principal entre 10 e 25% da granação máxima
R <sub>5.3</sub>	Média granação	Maioria das vagens no terço superior da haste principal com 25 a 50% da granação máxima
R <sub>5.4</sub>		Maioria das vagens no terço superior da haste principal entre 50 e 75% da granação máxima
R <sub>5.5</sub>	Final da granação	Maioria das vagens no terço superior da haste principal com 75 a 100% da granação máxima
R <sub>6</sub>	Semente formada ou granação plena	100% de granação. Maioria das vagens no terço superior contendo sementes verdes em seu volume máximo ("vagem gorda")
R <sub>7.1</sub>	Maturidade fisiológica	Até 50% de folhas e vagens amarelas
R <sub>7.2</sub>	Maturidade fisiológica	Entre 50 e 75% de folhas e vagens amarelas
R <sub>7.3</sub>	Maturidade fisiológica	Acima de 75% de folhas e vagens amarelas
R <sub>8.1</sub>	Desfolha natural	Até 50% de desfolha
R <sub>8.2</sub>	Desfolha natural	Acima de 50% de desfolha. Aproxima-se o ponto de colheita
R <sub>9</sub>	Maturidade a campo	95% de vagens com a cor da vagem madura

**Fonte:** Ritchie et al. (1982)

O período de florescimento da soja é relativamente longo (vai de 30 a 40 dias) e superpõe-se ao de formação das vagens e sementes, fazendo com que a planta resista melhor a períodos curtos de estiagem, durante a floração. Não raro, observa-se, em uma mesma axila foliar, presença simultânea de gemas vegetativas, flores abertas ou murchando e frutos em desenvolvimento. O estágio R4 indica a fase em que a maior parte das vagens está formada. Vagens do terço superior da planta (haste principal) se apresentam com 2 e 4 cm de comprimento. Os produtores brasileiros identificam esse estágio como o momento da cultura em que as plantas mostram os “canivetes”. As sementes são formadas por meio do processo de fertilização da oosfera, seguido por divisões e diferenciações, podendo inicialmente serem vistas depois do desenvolvimento da vagem, caracterizando o início da granação da soja (estádio R5.1). O acúmulo de matéria seca nas sementes evolui, atingindo o máximo volume quando se observam as cavidades das vagens verdes totalmente preenchidas por sementes de coloração verde (estádio R6). Entre o início e o máximo volume, o processo de acúmulo de matéria seca pode ser gradativamente quantificado por meio do tato ou da visão, conforme descrevem os subestádios R5.1 a R5.5 (RITCHIE et al., 1982).

As taxas de crescimento das vagens e de acúmulo de matéria seca pelas sementes são relativamente lentas, até cerca de 25 a 35 dias após o início do florescimento. A partir desse momento tornam-se rápidas, ao mesmo tempo em que as vagens e sementes vão perdendo a coloração verde e assumindo a coloração característica do cultivar (pubescência cinza ou marrom). À medida que há transferência de matéria seca para as sementes, ocorre amarelecimento e queda gradativa das folhas. A maturação das sementes consiste em uma série de alterações físicas, morfológicas, bioquímicas e fisiológicas, verificadas a partir da fecundação do óvulo. Encerra-se quando

a semente, ao atingir o máximo peso de matéria seca, se desliga fisiologicamente da planta e alcança a maturidade fisiológica (estádio R7), caracterizada pelo máximo peso de matéria seca nos grãos. Nesse momento, os grãos assumem coloração amarela e apresentam teores de umidade de aproximadamente 28 a 30%. Atualmente, para facilidade do monitoramento da lavoura, a maturidade fisiológica é subdividida em três subestádios, relativos aos níveis crescentes de amarelecimento de folhas e vagens. Simultaneamente à maturidade fisiológica de uma lavoura, poderá ocorrer a queda natural das folhas. Abaixo de 50% de desfolha, tem-se o estágio R8.1; acima de 50%, o estágio R8.2. O amarelecimento das folhas e das vagens, acompanhado da abscisão foliar, indica desidratação das plantas, vagens e sementes. Quando se observam 95% ou mais de vagens maduras, identifica-se a maturidade a campo (estádio R9). A lavoura poderá ser colhida a partir de 16% ou menos de umidade nas sementes. O crescimento das raízes durante os estádios reprodutivos cessa no R1, para as plantas com hábito de crescimento determinado, e progride até R5.2, para as de hábito de crescimento indeterminado. Entretanto e independentemente do hábito de crescimento, a atividade fisiológica das raízes persiste até o máximo volume de grãos (R6). Simultaneamente ao crescimento radicular, ocorre o aumento da taxa de nodulação das raízes, cujo auge se dá entre os estádios R2 e R6, épocas fenológicas e fisiológicas em que a soja requer maior quantidade de energia, água e nutrientes. Com relação ao manejo, durante a fase reprodutiva da soja, a preocupação maior se refere ao constante monitoramento das pragas aéreas e das doenças desfolhadoras (doenças de final de ciclo, oídio, mela, antracnose e a temida ferrugem asiática) (RITCHIE et al., 1982). No Brasil, a cada nova safra de soja, constata-se que há necessidade de conhecer a fenologia para auxiliar as novas tecnologias.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Procuramos, ao longo deste capítulo, contextualizar algumas informações importantes para aperfeiçoamento de estudos relacionados com a interferência do ambiente, fornecendo algumas opções no que diz respeito à continuidade do estudo de ecofisiologia para o desenvolvimento da cultura da soja.

## REFERÊNCIAS

- BORGES, E. Planta de soja no R1. In: **Sistemas de produção soja e milho**. Fundação Rio Verde. Boletim Técnico n. 21, n. 1. 2013, p. 19.
- BRAGA, G. **O pH do Solo e a Disponibilidade de Nutrientes**. Disponível em: <http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2012/01/o-ph-do-solo-e-disponibilidade-de.html>. Acesso em: 4 fev. 2018.
- CÂMARA, G. M. S. **Soja: tecnologia da produção II**. Gil Miguel de Sousa Câmara (editor). Piracicaba: G.M.S. Câmara, 2006, p. 450.
- CÂMARA, G. M. S. **Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção**. 2006. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va05-planta-e-ambiente01.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2018.
- CONAB. Produtividade da Soja: Análise e Perspectivas. **Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília: Conab, v. 10, 2017, p. 35.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2013.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. **Ames: State University of Science and Technology**, 1977, p. 11. (Special Report, 80).
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980, p. 251.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006, p. 638.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995, p. 889.
- NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: Bonatto, E. R. (eds.). **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, cap.1, 2000, p.19–44.
- OLIVEIRA, F. A.; SFREDO, G. J.; CASTRO, C.; KEPLER, D. **Fertilidade do solo e nutrição da soja**. 2007. Embrapa. Circular técnica n. 50.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; PEREIRA, L. R.; DOMINGOS, C. da S. **Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja**. 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1047123/estadios-fenologicos-e-marcha-de-absorcao-de-nutrientes-da-soja>. Acesso em: 5 fev. 2018.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E. How a soybean plant develops. Ames, Iowa: **Yowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension**, 1982, p. 20. (Special Report, n. 53).

SANTOS, A. C.; OLIVEIRA, B. A.; GOMES, I. F.; GROFF, A. M. **Fatores e técnicas de produção e sua influência na produtividade e qualidade da soja**. 2017. Disponível em: [http://anais.unespar.edu.br/xi\\_eepa/data/uploads/artigos/1/1-10.pdf](http://anais.unespar.edu.br/xi_eepa/data/uploads/artigos/1/1-10.pdf). Acesso em: 4 fev. 2018.

## **9. ECOFISIOLOGIA DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Jhansley Ferreira da Mata

No Brasil, a cana-de-açúcar desempenha importante papel no desenvolvimento do país, gerando emprego, renda e divisas. A cana-de-açúcar é a matéria-prima para a fabricação do açúcar e do etanol, além de outros subprodutos, tendo nos colocado como líder mundial do setor. Segundo Gascho e Shih (1983), essa cultura apresenta quatro estádios de desenvolvimento, sendo a brotação da gema e estabelecimento; perfilhamento; final do perfilhamento ao período de crescimento dos colmos (início do acúmulo de açúcar no colmo) e início da acumulação de açúcar à maturação (Quadro 1).

**Quadro 1:** Fase fenológica e estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar.

<b>Estádio de Desenvolvimento</b>	Brotação da Gema e Estabelecimento	Perfilhamento	Final do Perfilhamento ao Período de Crescimento dos Colmos	Início da Acumulação de Açúcar à Maturação
<b>Fase Fenológica</b>	Emergência	Estabelecimento	Desenvolvimento	Maturação
<b>Tempo de Duração</b>	30 a 60 dias	60 a 90 dias	180 a 210 dias	60 a 90 dias

**Fonte:** elaborado pelo autor.

A cana-de-açúcar foi classificada por Linneu, em 1753, como *Saccharum officinarium* e *Saccharum spicatum*. Esta é uma planta de metabolismo C<sub>4</sub>, que tem um mecanismo de concentração de CO<sub>2</sub> nas células do mesófilo mobilizando as moléculas de CO<sub>2</sub> e transportando-as na forma de uma molécula de quatro carbonos para descarboxilação nas células da bainha vascular (ALLEN et al., 1985). O mecanismo de concentração de CO<sub>2</sub> nas células do mesófilo permite às plantas C<sub>4</sub>, contudo, fechar parcialmente os estômatos reduzindo a condutância estomática e a transpiração quando submetidas a elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> (LUCCHESI, 2001).

Sendo planta C<sub>4</sub>, a cana-de-açúcar, possui grande eficiência fotossintética e elevado ponto de saturação luminosa. Quanto maior a radiação solar, mais fotossíntese será realizada e, conseqüentemente, maior será o crescimento e o acúmulo de açúcar.

Em geral, essas informações correspondem à quantidade de material contido na planta e o tamanho do aparelho fotossintetizante (área foliar), obtidas a intervalos de tempo regulares durante o desenvolvimento fenológico da planta (URCHEI et al., 2000).

A cultura da cana-de-açúcar se desenvolve, caracteristicamente, em forma de touceira; possui, como a maioria das espécies, uma parte aérea formada por colmos, folhas e inflorescência, e outra subterrânea, constituída de raízes e rizomas. Sendo o colmo a parte da cana-de-açúcar que apresenta valor econômico, algumas considerações relativas à sua composição química apresentam fundamental significado.

O colmo é cilíndrico, ereto, fibroso e rico em açúcar, com diâmetro e comprimentos variados, sendo a parte da cana-de-açúcar de maior interesse econômico. Este é constituído de nós e entrenós. Em cada nó existe uma gema, geralmente protegida por escamas, dispostas alternadamente em torno do colmo, que normalmente são protegidas pela bainha da folha, a qual está firmemente presa ao entrenó. As folhas senescentes, ao caírem, deixam uma “cicatriz foliar” em torno do colmo, na região de inserção da bainha (CASAGRANDE, 1991). Acima da “cicatriz foliar” do colmo, se encontra a zona radicular, compreendida pelos primórdios radiculares e abaixo da “cicatriz foliar”, está a “zona cerosa”, isto ocorre em todas as cultivares.

Os inúmeros cultivares existentes atualmente, provenientes de melhoramento, contribuíram para aumentar a diversidade de formas, comprimentos, diâmetros e cores dos entrenós, o mesmo acontecendo com as gemas (formas e tamanhos) (CESNIK; MIOCQUE, 2004).

Através de um corte transversal no colmo, podem ser identificadas a casca endurecida, a polpa interna mais macia e as fibras. A casca é formada por várias camadas de células lignificadas que protegem os tecidos internos. As células da epiderme muitas vezes contêm pigmentos vermelhos que podem conferir uma coloração avermelhada ao colmo de certos cultivares (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

As fibras são feixes vasculares que nos entrenós são praticamente paralelos uns aos outros, mas na região do nó frequentemente se separam e algumas ramificações se estendem para dentro do próximo entrenó e outras ramificações curvam-se e dirigem-se para dentro das bainhas das folhas, primórdios de raízes ou gemas. Os sistemas de xilema e floema estendem-se da raiz até a extremidade da folha, e é por onde a água, nutrientes e o material fotossintetizado translocam-se na planta (CASAGRANDE, 1991).

Quanto aos plantios comerciais, a propagação da cana-de-açúcar normalmente é realizada através de toletes. Deve-se cortar a cana em toletes para reprimir a “predominância apical” quando o colmo não é dividido em toletes, há uma propensão para fazer vegetar somente as gemas da base e da ponta do mesmo. Provocada pela ação das enzimas nas gemas laterais, essas enzimas estão em estado latente, o tratamento térmico (52°C) do colmo inibe a predominância apical. Faz-se necessário o cruzamento do pé com a ponta, as gemas mais próximas da ponta do colmo germinam mais facilmente do que as demais, em decorrência da dominância apical. Por essa razão é que se recomenda cruzar o ápice com as bases do colmo, as gemas mais novas germinam antes que as mais velhas, e a população ideal é de 15 a 18 gemas por metro de sulco (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

Os colmos são plantados em sulcos de no mínimo 20 cm de profundidade, picados em toletes com três a seis gemas. Após o plantio começam a surgir às raízes do tolete (que são finas e ramificadas) e em cada gema desenvolve o perfilho primário (que dá origem ao colmo), o perfilho secundário e assim por diante, formando touceiras.

Dinardo-Miranda et al. (2008) citam vários fatores que influenciam a brotação dos toletes, dentre eles: temperatura, umidade do solo, aeração do solo, presença da bainha, pragas e doenças, intervalo

de tempo entre o corte da muda e a distribuição no sulco de plantio, variedade, entre outros, que serão descritos abaixo.

A temperatura mínima onde as gemas podem sofrer injúrias é de 10°C, já a ideal varia entre 30 e 35.

Para adequada brotação dos toletes, há necessidade de um suprimento ideal de ar (macroporos) e de água (microporos). Em regiões úmidas ou em culturas irrigadas, deve-se preferir uma quantidade maior de macroporos e o inverso seria desejável em climas secos, sob condições intermediárias a relação entre macro e microporos deve estar próximo de 1:1.

A presença da palha exerce efeito desfavorável à velocidade de brotação. Considerando que, para haver boa brotação, é necessário ocorrer bom contato da gema com a umidade do solo e boa condutibilidade do calor do solo para gema; a palha funcionaria como obstáculo a esses contatos.

Quanto ao intervalo de tempo entre o corte da muda e a distribuição no sulco de plantio, é necessária atenção quanto ao tempo em que as mudas podem ser armazenadas, antes da sua distribuição no sulco. Frazão (1976) observou que as mudas suportam até sete dias com melhor resistência das gemas da ponta. Porém, as regiões dos colmos não influenciaram quando as mudas foram cortadas e plantadas no mesmo dia.

Para o armazenamento de mudas sob condição ambiente, deve-se empilhar o maior volume possível para haver auto-sombreamento e, se possível, também cobrir a cana empilhada com uma camada de palha ou bagaço para evitar o contato direto com os raios solares. O ideal é que, uma vez distribuídos nos sulcos, sejam cobertos com terra o mais rápido possível, principalmente se o plantio ocorrer em dias quentes.

Outro fator que pode influenciar na viabilidade da gema é o tempo em que os sucros ficam abertos, pois em períodos desfavoráveis, com baixa umidade do solo, os sulcos devem ficar abertos o mínimo possível.

Segundo estudos, colmos com três gemas são os mais utilizados por apresentarem maior arqueamento da cana inteira e maior velocidade de emergência dos toletes, pós-cobertura com solo. De um modo geral, o melhor estado nutricional pode ser obtido utilizando-se, para a produção de mudas, solos férteis ou bem corrigidos, desde que sejam aplicadas, nos viveiros, todas as práticas culturais necessárias.

Analisando a profundidade de plantio e cobertura dos toletes com solos, Brieger e Paranhos (1964) citam que a profundidade de plantio não deve ser maior que a profundidade de preparo do solo, para não dificultar o desenvolvimento e a penetração de raízes. P. et al. (1976) testaram três profundidades de 10, 20 e 30 cm, com o solo preparado a 15 cm e 30 cm, e observaram ligeira vantagem na brotação do plantio nas menores profundidades.

Em condições favoráveis, o sulco raso é tão eficiente quanto sulco profundo; porém, a profundidade de preparo do solo não deve ser menor que 40 cm, a não ser que o solo não apresente camadas compactadas. Clements (1980) cita experimentos em que o aumento da espessura da camada de solo sobre os toletes ofereceu melhores condições para o estabelecimento de uma touceira de cana-de-açúcar mais vigorosa. Em uma área maior de região radicular em contato com o solo verifica-se maior formação de raízes, além de maior absorção de água e nutrientes. Em condições favoráveis, maior vigor dos rebentos seria proporcionado pelo solo que cai no sulco devido o assoreamento natural e ação dos implementos de cultivo.

No que concerne à brotação, pode modificar de acordo com a variedade mesmo havendo condições ambientais idênticas para ambas. O manejo e a boa capacidade de brotação são características desejáveis no manejo varietal.

Dos primórdios radiculares do tolete plantado, desenvolvem-se as primeiras raízes de fixação. Inicialmente, aproximadamente nos 30 primeiros dias, a planta sobrevive de reservas nutricionais contidas nos toletes e do material (água e sais minerais) absorvido pelas raízes de fixação. Posteriormente há o suprimento nutricional das raízes dos perfilhos primários, dos secundários, e assim sucessivamente. Aproximadamente três meses após o plantio, a cana-planta depende exclusivamente das raízes dos perfilhos e as raízes de fixação perdem sua função. Nesse momento, praticamente todo o sistema radicular está distribuído nos primeiros 30 cm de solo (LUCCHESI, 2001).

A profundidade do sistema radicular formado depende, principalmente, do cultivar e das condições edáficas: umidade e as características físicas e químicas do solo. Vários autores já descreveram a existência dos tipos básicos de raízes na cana-de-açúcar: as raízes superficiais, ramificadas e absorventes, as raízes de fixação mais profundas, e as raízes-cordão, que podem aprofundar-se até seis metros.

Todos os perfilhos apresentam um sistema radicular próprio após o corte da cana-planta, o sistema radicular mantém-se em atividade por determinado tempo e, posteriormente, há a substituição através dos sistemas radiculares dos perfilhos da soqueira. As raízes de soqueira são mais superficiais que as da cana-planta (CASAGRANDE, 1991). Assim quanto maior o número de cortes, mais superficial fica o sistema radicular das soqueiras.

São vários os fatores que influenciam o desenvolvimento do sistema radicular que, segundo Dinardo-Miranda et al. (2008) são variedades, umidade do sol, temperatura, luminosidade, porosidade, nutrientes, pragas e doenças.

No que se refere a variedades, são portadoras de vigoroso sistema radicular, têm uma maior capacidade de adaptação em solos de baixa fertilidade e maior resistência à pragas e moléstias presentes no solo.

As variedades de cana-de-açúcar plantada no início da estiagem apresentam maior resistência à seca, isto se deve ao maior desenvolvimento do sistema radicular, em relação a parte aérea da planta. Já a cana plantada na época das águas há grande desenvolvimento vegetativo devido às boas condições de umidade, temperatura e luminosidade, mas com um sistema radicular pouco desenvolvido com relação à parte aérea.

Para o cultivo da cana-de-açúcar o volume total de poros adequado no solo depende do tipo de solo, variando entre 7% e 25% de porosidade. Percentagens menores que 7% podem acarretar problemas com a aeração, principalmente com o fator  $O_2$  presente no solo. Neste caso, é interessante quantificar a massa específica aparente ou analisar a resistência do solo, e assim verificar se há ocorrência de adensamento ou compactação do solo que poderiam prejudicar o desenvolvimento normal do sistema radicular.

A prática da aplicação de adubo é realizada para suprir a necessidade nutricional da cultura, e pode ser localizada na linha e/ou entrelinha. No entanto, a necessidade e local dessa aplicação depende da variedade a ser plantada e análise química do solo. Para o melhor estado nutricional da cultura, os nutrientes (macro e micro) aplicados no solo devem estar disponíveis conforme a necessidade da cultura,

pois a deficiência de macro e/ou micronutrientes pode ocasionar a queda de produção.

No que diz respeito às principais pragas que atacam as gemas na brotação do tolete no solo, tem os “Cupins” e “Pão de Galinha”, e dentre as doenças, a principal é a “Podridão Abacaxi”, tanto as pragas quanto as doenças, se não controladas, podem reduzir significativamente a produção da cultura da cana-de-açúcar.

Em relação ao perfilhamento, é o processo fisiológico de ramificação subterrânea contínuo das juntas nodais compactadas do broto primário. A cana-de-açúcar é da família Poaceae (*Gramineae*), sendo uma planta perene, que perfilha de maneira abundante na fase inicial do desenvolvimento. Quando se estabelece como cultura, o auto sombreamento induz inibição do perfilhamento e aceleração do colmo principal. O crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, ocorrência de baixas temperaturas ou, ainda, devido ao florescimento, sendo este processo indesejável em culturas comerciais.

A base de uma boa cultura reside no estágio de brotação, enraizamento e emergência dos brotos, onde ocorre o estabelecimento inicial das plantas em campo. O perfilhamento e estabelecimento da cultura (da emergência dos brotos ao final do perfilhamento) ocorre nesses estádios, o estabelecimento definitivo da cultura. O número de perfilhos por unidade de área está associado ao início do acúmulo de sacarose nos colmos e determina a futura produtividade ou fitomassa ( $t\ ha^{-1}$ ) da cultura (LUCCHESI, 2001).

O perfilhamento ocorre na parte subterrânea, e, no caso da cana, esse processo é limitado levando a planta a formar uma moita ou touceira, embora existam algumas exceções, como é o caso de algumas

variedades da espécie *S. spontaneum*, cujo perfilhamento é um processo ilimitado (CASAGRANDE, 1991).

Já os rebentos são formados após a brotação e são chamados de perfilhos. Os perfilhos primários são originários das gemas dos toletes e os perfilhos secundários são originários das gemas dos perfilhos primários, e assim em diante. O modo de perfilho pode ser diferenciado de espécie para espécie.

A quantificação de perfilhos deve ser expressa por fórmulas e a quantidade de perfilhos varia entre 10 a 20; estes vão morrendo pela competição intraespecífica, podendo chegar de três a seis perfilhos (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

Assim, a variedade, luminosidade, temperatura, nutrientes, umidade do solo, espaçamento, cobertura da muda, acamamento, pragas, doenças e plantas daninhas são alguns dos fatores que afetam o perfilhamento da cana-de-açúcar, e serão descritos abaixo conforme Casagrande (1991).

Na região centro-sul brasileira, a época de plantio da cana-de-açúcar ocorre entre setembro a abril, sendo que, de março em diante temos menor intensidade de luminosidade e calor, o que afeta o perfilhamento da cultura. Dependendo das características genéticas de cada variedade pode ocorrer probabilidade de ter baixo perfilhamento. Assim, é necessário a busca por variedades com maiores perfilhamentos (CESNIK; MIOCQUE, 2004). A luminosidade baixa poderá reduzir o perfilhamento. Desse modo, a busca por regiões com luminosidade capaz de elevar ao ponto máximo de energia é desejável.

Quanto à umidade relativa, deve ser alta (80 – 85%), pois favorece o alongamento dos colmos da cana-de-açúcar no seu período de crescimento e valor de umidade moderado entre 45 – 65% na fase de amadurecimento do colmo e na falta do suprimento de água.

A cana-de-açúcar é uma planta que necessita de muita luz solar. Ela se desenvolve bem em áreas que recebem energia solar de 18 – 36 MJ m<sup>-2</sup>. Sendo uma planta C4, a cana-de-açúcar é capaz de produzir altos índices fotossintéticos e o processo mostra uma variação de alta saturação em relação à luz. O perfilhamento é afetado pela intensidade e duração do brilho do sol. Alta intensidade de luz e longa duração promovem o perfilhamento, enquanto dias curtos e nublados diminuem. O crescimento do colmo aumenta quando a luz do dia está entre uma faixa de 10 – 14 horas. O aumento do índice de área foliar é rápido durante o terceiro e quinto mês, e alcança seus valores de pico durante a fase inicial de crescimento dos colmos. A temperatura à medida que se eleva até 30°C pode aumentar o perfilhamento da cultura. Já temperaturas menores que 20°C retarda o perfilhamento.

Para o cultivo da cana-de-açúcar é necessário que seja em solos de alta fertilidade, pois a cultura é exigente em nutrientes; assim, em solos de baixa fertilidade, é necessário realizar a correção, pois a deficiência nutricional acarreta em menor perfilhamento e, conseqüentemente, baixa população de plantas.

A umidade adequada do solo leva a um bom perfilhamento. Já solos com baixa retenção de umidade estão sujeitos ao baixo perfilhamento da cana-de-açúcar.

Considerando o espaçamento, a distância entre linhas de plantio e a quantidade de gemas por metro linear de sulco podem influir no perfilhamento. Assim, no Brasil, os espaçamentos entre linhas mais utilizados são de 1,40 e 1,50 m, sendo este último o mais indicado para a colheita mecanizada. Quanto ao número de gemas por metro linear de sulco, passou de 8 – 10 gemas por metro, a 12 gemas, com tendência a se utilizar até 15 gemas.

Em solos úmidos, a cobertura da muda pode ser realizada somente com a compressão dos toletes, deixando a parte superior visível, aumentando, assim, o perfilhamento. Já em solos com boas condições de umidade, cobre-se com uma pequena quantidade de terra o tolete; o restante da cobertura do solo será advindo do cultivo mecânico posterior.

No acamamento ocorre formação de brotos laterais. Logo, dependendo do grau de acamamento, pode provocar a formação de brotos próximo da base da cana-de-açúcar que, por serem tardios, possuem baixo teor de sacarose.

As pragas relacionadas com o perfilhamento se destacam a *Elasmopalpus lignosellus* (lagarta elasma) e a *Diatraea saccharalis* (broca do colmo). A lagarta elasma ataca o perfilho, principalmente na fase inicial da cultura, provando o “coração morto”. Já a broca do colmo ataca o colmo numa fase mais avançada da cultura, perfurando-o.

A cana-de-açúcar, em competição com plantas daninhas, pode diminuir o perfilhamento afetando de 3 a 4 vezes o número de colmos, chegando a diminuir de 6 a 7 vezes a produção final.

Assim, no setor sucroalcooleiro, existem vários fatores que afetam o setor produtivo canavieiro e que oneram a produção podendo destacar, entre outros, competição com plantas daninhas, ataque de pragas e doenças, condições edafoclimáticas, entre outros. Esses fatores, de forma desequilibrada no sistema de cultivo, podem levar a cultura ao estresse, ocasionando redução na produtividade e na qualidade tecnológica da cultura.

O estresse pode ocasionar alterações fisiológicas na cana-de-açúcar, que dependendo da intensidade, pode limitar o desenvolvimento da cultura, modificando a quantidade e qualidade do caldo da cana.

Assim, as alterações fisiológicas da cana-de-açúcar estão ligadas diretamente com a qualidade da matéria-prima, na fase de maturação para produção de etanol e açúcar, onde, inicialmente, a qualidade tecnológica é determinada no laboratório e onde será calculado o pagamento da cana por teor de sacarose.

O acúmulo de sacarose nos colmos ocorre durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar, na fase de maturação. Essa fase pode ser definida como o momento em que a planta reduz, significativamente, seu crescimento vegetativo e passa a acumular maior quantidade de sacarose nos colmos. Os mecanismos fisiológicos que ocorrem na planta durante essa fase ainda não são completamente conhecidos. A determinação de quais são esses mecanismos e como eles operam para culminar na maior concentração de sacaroses no colmo é de grande interesse para oferecer ferramentas para a seleção e desenvolvimento de variedades mais produtivas (WATT et al., 2014).

Estes mecanismos podem envolver alterações nas relações fonte/dreno na planta, isto é, na capacidade das células dos colmos (poderosos drenos de fotoassimilados) em produzir e armazenar sacarose, e na capacidade das folhas de assimilar CO<sub>2</sub> e produzir e transportar carboidratos (MCCORMICK et al., 2006).

A sinalização que ocorre para que a cana-de-açúcar diminua seu crescimento vegetativo e passe a acumular sacarose depende de sinais ambientais, notadamente da restrição hídrica ou de quedas na temperatura. Isso indica que a transdução desses sinais é importante para o estabelecimento da maturação, logo os hormônios vegetais estão envolvidos no processo (YAO et al., 2002). O ponto de maturação, em campo, considerado em sólidos solúveis para a colheita da cana-de-açúcar é de, no mínimo, 18 graus Brix.

A finalidade principal da cana-de-açúcar é a produção de sacarose para a fabricação de açúcar e produção de etanol como fonte alternativa de combustível. A produção de sacarose somente será satisfatória para a indústria se encontrar condições ambientais favoráveis à concentração de açúcar. Em relação aos usos, Magalhães (1987) relata que, além da sacarose, os açúcares redutores contribuem para formar o melaço usado na fabricação de rações e a fibra pode ser utilizada como combustível alternativo na própria indústria (usina).

No entanto, o controle de forma adequada dos fatores que ocasionam queda na produtividade da cana-de-açúcar e as condições climáticas têm favorecido a concentração de açúcares na cana. Com isso, o índice de Açúcares Totais Recuperáveis por tonelada de cana-de-açúcar (ATR/TC) foi estimado pela CONAB (2017), safra 2017/18 em  $139,1\text{Kg t}^{-1}$ , variação positiva de 3,73% sobre a safra anterior quando o ATR ficou em  $134,00\text{ kg t}^{-1}$  de cana. Do volume total, serão destinados à produção de açúcar 47,9% e para a produção de etanol 52,1%.

A inflorescência da cana-de-açúcar é uma panícula aberta, chamada de bandeira ou flecha (MOZAMBANI et al., 2006). No processo de formação da inflorescência, inicialmente, deve ser detectado o período em que ocorre o estímulo para que o meristema apical se modifique, deixando de produzir folhas e colmos e passe a formar a inflorescência. Esse período é de difícil definição, pois depende do cultivar, do clima da região e das mudanças que ocorrem nos anos agrícolas. Tais fatos levam a estabelecer somente os meses em que as possibilidades desses fenômenos ocorrerem são maiores (RODRIGUES, 1995).

O florescimento da cana-de-açúcar é controlado por um complexo de fatores, envolvendo, principalmente, o fotoperíodo, a temperatura, a umidade e a radiação solar (CASTRO, 2001), além da

maturidade da planta e da fertilidade do solo (FARIAS et al., 1987). A interação entre esses fatores pode aumentar, manter ou prevenir a transformação do ápice da cana-de-açúcar de crescimento vegetativo para reprodutivo (DUNKELMAN; BLANCHARD, 1974). O processo de florescência em si é bastante complexo, envolvendo fitocromo, hormônios, florígeno, ácidos nucléicos e fatores diversos, conforme Castro (1993).

Contudo, é importante o conhecimento da ecofisiologia e dos parâmetros edafoclimáticos desejáveis para o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, assim qualquer alteração que cause estresse pode influenciar e acarretar na perda de produtividade e/ou na qualidade tecnológica da cultura.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, L. H.; JONES, P. H.; JONES, J. W. Rising atmospheric CO<sub>2</sub> and evapotranspiration. In: **Advances in evapotranspiration**. St. Joseph: ASAE, 1985, p. 13–27.
- BRIEGER, F.O; PARANHOS, S. B. Técnica Cultural. In: MALAVOLTA *et al.* **Cultura e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Brasileiro da Potassa, 1964, p. 139–190.
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal-SP: UNESP FUNEP. 1991, p. 133.
- CASTRO, P. R. C. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: ENCONTRO CANA-DE-AÇÚCAR, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Rhodia Agro, 1993, p. 4–8.
- CASTRO, P. R. C. **Fisiologia vegetal aplicada à cana-de-açúcar**. Maceió, 2001, p. 7.
- CESNIK, R; MIOCCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
- CLEMENTS, H.F. **Sugarcane crop logging and control: principles and practices**. [London]: Pitman Publishing; [Honolulu]: The University Press of Hawaii, 1980, p. 520.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2017/2018, terceiro levantamento**. 2017. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18\\_01\\_08\\_09\\_08\\_38\\_cana\\_dezembro\\_novo.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_08_09_08_38_cana_dezembro_novo.pdf). Acesso em: 14 fev. 2018.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; MACHADO, A. C.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas, SP: Instituto Agronômico, 2008, p. 882.
- DUNKELMAN, P. H.; BLANCHARD, M. A. Controlled photoperiodism in basic sugarcane breeding. **Proc Int Soc Sugar Cane Technol**, v. 4, 1974, p. 80–85.
- FARIAS, S.O. *et al.* Controle de florescimento em cana-de-açúcar através do corte no período de indução floral. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4. 1987, Olinda, PE. **Anais...** Olinda: STAB, 1987, p. 718–721.
- FRAZÃO, D. A. C. **Influência do intervalo entre colheita e plantio na germinação da cana-de-açúcar** (*Saccharum spp.*). 1976. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1976.
- GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983, p. 445–479.

LUCCHESI, A. A. Cana-de-açúcar. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Eds.). **Ecofisiologia de culturas extrativistas**: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendzeneiro e oliveira. Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil, 2001, p. 13–45.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C., FERREIRA, S. O., YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Assoc. Bras. da Potassa e do Fosfato. 1987, p. 113–118.

MCCORMICK, A. J., CRAMER, M. D., WATT, D. A. Sink strength regulates photosynthesis in sugarcane. **New Phytologist**. 2006, p. 759–770.

MOZAMBANI, A. E. *et al.* História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. *et al.* **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Cadernos Planalsucar. 2006, p. 11–18.

PARANHOS, S. B.; GUIMARÃES, E.; GURGEL, M. N. do A. Profundidade de plantio em diferentes profundidades de preparo do solo. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DA AGROINDÚSTRIA AÇUCAREIRA, 4. Águas de LINDOIA. **Anais...** São Paulo: COPERSUCAR, 1976, p. 2.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995, p. 100 (Apostila).

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, mar. 2000, p. 497–506.

WATT, D. A., MCCORMICK, A. J., CRAMER, M. D. Source and Sink Physiology. In P.H. MOORE, F.C. BOTHA, F.C. (Eds.), **Sugarcane**: Physiology, Biochemistry and Functional Biology. 2014, p. 483–520.

YAO, R. L., LI, Y. R., ZHANG, G. R., YANG, L. T. Endogenous hormone levels at technical maturing stage of sugarcane. **Sugar Tech**. 2002, p. 14–18.

## **10. ECOFISIOLOGIA DO MILHO**

Max Whendell de Paula Lima

Clélia Aparecida Iunes Lapera

Muriel Silva Vilarinho

O tema em questão é fascinante, uma vez que envolve os principais pilares da sobrevivência de organismos, como o milho. Trata-se da gênese e sua constituição atual por meio da genética e do desempenho de suas funções, considerando a relação com o meio ambiente e suas diversidades pela fisiologia que, por sua vez, constitui-se em um ramo da fisiologia comparativa.

Para que não hajam dúvidas sobre o assunto, a ecologia pode ser descrita como sendo a ciência que se preocupa com o comportamento dos organismos perante o meio em que vivem, ou seja, a inter-relação ou a interação de componentes bióticos e abióticos.

Quando se considera os diversos setores diretamente relacionados às ciências agrárias, o conhecimento sobre a ecofisiologia das culturas e dos animais torna-se indispensável, uma vez que se busca, na atualidade, o retorno econômico obtido com manejo sustentável, lembrando que em ciências agrárias, na maioria dos casos, não se consegue controle absoluto sobre as questões ambientais, tais como o clima.

Nesse sentido, os profissionais do agronegócio devem possuir conhecimento muito bem fundamentado sobre genética e fisiologia das espécies, pois necessitarão tomar decisões rápidas e acertadas acerca das problemáticas envolvidas.

Na cultura do milho a importância talvez seja ampliada, pois considera-se a espécie como cosmopolita e sua representatividade econômica - tanto como matéria prima quanto produto industrializado ou processado - é de grande relevância.

Sendo assim, estudos sobre a adaptabilidade e estabilidade de comportamento da cultura do milho para o meio em que se destina, resulta na obtenção de variedades comerciais com excelente potencial produtivo. Tal potencial produtivo depende da constituição genética e do manejo empregado durante os estádios que compõem seu ciclo de vida. Cada fase de desenvolvimento da cultura é fundamental para a produtividade final, visto que se trata de um processo contínuo e interligado.

Como já dito anteriormente, é fundamental que se tenha conhecimento a respeito da planta, seu funcionamento e seu comportamento com o meio ambiente. Então, um breve relato sobre a origem e botânica do milho será exposto.

A espécie *Zea mays*, como é atualmente, passou por vários procedimentos evolucionistas conforme consta na teoria da evolução proposta por Charles Darwin em 1859. Na Figura 1, observa-se o ascendente do milho cultivado, o Teosinte, ancestral que não desapareceu. Tendo seu centro de origem nas regiões montanhosas do sul do México e norte da Guatemala, as mudanças ocorreram mais pronunciadamente na arquitetura externa da planta devido a mudanças geográficas e também por mutações.

**Figura 1:** Planta de Teosinte ancestral do milho cultivado

B- Milho cultivado. Atenção para o perfilhamento



Fonte: Max Whendell de Paula Lima.

Estudos realizados por Willian José da Silva, agrônomo e pesquisador, concluíram que nas questões de hereditariedade, ou seja, de genes entre o Teosinte e o milho, não havia grandes diferenças mas houve processos evolutivos relacionados a mudanças de ambiente, além de mutações. A Figura 2 mostra diferenças nas inflorescências femininas entre estas duas espécies.

**Figura 2:** Inflorescências: teosinte à direita e do milho à esquerda



**Fonte:** Max Whendell de Paula Lima.

Por falar em proximidades genéticas entre espécies, quanto mais próximas, mais facilmente se dará o cruzamento entre elas, resultando em progênes férteis interespecíficas. Considerando apenas o milho, este possui um mecanismo de reprodução que necessita trocar alelos entre indivíduos diferentes, denominado de alogamia. Para este tipo de mecanismo reprodutivo, é necessário que ocorra a polinização cruzada, ou seja, entre indivíduos diferentes, caso contrário, ocorrerá um fenômeno de queda de vigor, conhecido como depressão por endogamia, mas se ocorrer autofecundação do mesmo indivíduo. Essa depressão será mais acentuada ou não, dependendo da espécie em questão.

O milho é bastante sensível e sofre com a depressão por endogamia, e isto, fez com que desenvolvesse mecanismos que promovam a polinização cruzada, como a monoícia. Uma planta é considerada monóica, quando possui as inflorescências masculina e feminina em um mesmo indivíduo, entretanto, em posições diferentes de sua arquitetura. Outro mecanismo para evitar a autofecundação no milho, se dá pelo grão de pólen ser extremamente leve, fazendo com que ele não alcance os seus próprios estilos estigmas e não ocorra a autofecundação. As barreiras promovidas pelas folhas também dificultam a sua autopolinização. A protândria, definida como a maturidade fisiológica da inflorescência masculina que ocorre primeiro que a feminina, também está presente para promover a fecundação cruzada.

**Figura 3:** Detalhes das inflorescências femininas e a barreira física promovida pelas folhas. A esquerda inflorescência feminina ainda sem emissão dos estilos estigmas. A direita estilos estigmas já sendo emitidos, estando receptivos à fertilização



**Fonte:** Max Whendell de Paula Lima.

**Figura 4:** A esquerda, detalhe da inflorescência masculina da planta de milho. A direita, detalhe dos grãos de pólen



**Fonte:** Max Whendell de Paula Lima.

Não somente a morfologia e fisiologia reprodutiva são influenciadas pelos fatores edafoclimáticos, pois em um ciclo de vida todos os estádios de desenvolvimento do vegetal traduzirão na estabilidade de produção e os mesmos se correlacionam desde a germinação.

Tem-se o sistema radicular que dá sustentação à planta no solo, absorve água e nutrientes para que o vegetal realize suas funções básicas. As raízes são mais superficiais, o que dificulta sua adaptação em solos secos. O comprimento do sistema radicular pode chegar a 3m, entretanto, a definição também está associada a fatores como pH, umidade e compactação no solo. O suprimento de carboidratos produzidos e acumulados nas partes aéreas também é determinante no crescimento das raízes.

No desenvolvimento vegetativo da parte aérea estão o colmo e as folhas e, como já dito, responsáveis pela produção de fotoassimilados que são destinados como suprimento de todos os órgãos que compõem o vegetal. Aliás, colmo e, principalmente, as folhas são consideradas como fonte de carboidratos e os demais órgãos não fotossintetizantes, denominados de drenos que também podem ser armazenadores de carboidratos para posterior utilização.

Toda essa estrutura funcional está engrenada e são participes dos fenômenos da fotossíntese e da respiração. É válido lembrar que os dois fenômenos não se confundem, principalmente considerando a captação de  $\text{CO}_2$  como matéria-prima para a fotossíntese e a utilização de  $\text{O}_2$  para a respiração.

A interação com o meio, ou seja, a relação entre fatores bióticos e abióticos estão intimamente ligados, pois, é necessário que haja também, além de gás carbônico e oxigênio, luz solar, água e nutrientes, todos disponíveis na sua quantidade ideal de funcionamento, o que também se relaciona diretamente com as questões genéticas. Um exemplo seria a capacidade fotossintética de uma determinada espécie e/ou variedade que pode ser de maior ou menor eficiência.

A questão da eficiência no uso da água deve ser considerada quando em cultivos. No caso do milho, que é uma planta do tipo  $\text{C}_4$ , é mais eficiente que a cultura da soja que é  $\text{C}_3$ . Tal fator está relacionado a abertura e fechamento dos estômatos, sendo complexo pelo fato de propiciar a perda de água pela planta por meio da transpiração. Situações em que não se tem água em grandes quantidades disponíveis à planta, aliada a temperaturas altas e com forte incidência de raios solares, principalmente em determinadas horas do dia e épocas do ano, a planta pode perder grandes volumes de água e entrar em seu ponto de murcha, que dependendo da situação é irreversível (ponto de murcha permanente).

A transpiração nos vegetais é muito importante, uma vez que, trata-se de um bombeamento promovido pelo sol, então não há gasto de energia pela planta e isso é fundamental, pois, a água está presente em todas as células e órgãos, propicia todas as funções dos organismos e, por isso, é utilizada em grandes quantidades. Entretanto, deve haver um equilíbrio entre entrada e saída de água nas plantas.

Em horas mais quentes do dia, os vegetais fazem esta regulação pelo fechamento dos estômatos, total ou parcial. Acontece que pelos estômatos é que o  $\text{CO}_2$  será captado em grandes quantidades, como também é nestas horas mais quentes e de maior incidência de luz, que a planta pode fazer mais fotossíntese, havendo então, um descompasso entre perda de água e captação de  $\text{CO}_2$ . As plantas  $\text{C}_3$  necessitam estar com os estômatos abertos nas horas de maior incidência solar, para captar  $\text{CO}_2$ , e isso pode ser danoso ao seu funcionamento. Já o milho, em sendo uma planta  $\text{C}_4$ , consegue reduzir a abertura de seus estômatos, visando equilibrar a perda de água por transpiração, uma vez que, neste sistema de metabolismo, ela consegue armazenar  $\text{CO}_2$  durante a noite e nas horas mais amenas do dia, para depois utilizá-lo durante o dia e nas horas de maior incidência de luz, permanecendo com seus estômatos fechados. Existem as espécies que possuem o metabolismo simbolizado de CAM, sendo estes, mais eficientes que as de metabolismo  $\text{C}_4$ .

O sombreamento também é determinante para o cultivo do milho e, isto também se relaciona com a eficiência fotossintética. A quantidade de cloroplastos presentes nos órgãos de coloração verde é fundamental para que a fase luminosa ou clara da fotossíntese seja efetiva. O milho necessita que ocorra a incidência direta de luz solar em suas folhas para que os fotossistemas I e II possam desempenhar suas funções. E, não havendo o suprimento do quantitativo ideal, as funções fotossintéticas serão reduzidas, reduzindo-se também, a produtividade da planta.

Nesse sentido, um fator que deve ser considerado é a arquitetura das plantas, e do ângulo de inserção entre colmo e folha. Quanto mais eretas estiverem as folhas, ou seja, com menor ângulo, melhor será a penetração dos raios solares até as folhas mais baixas, que também fazem fotossíntese. Por isso, nos trabalhos de melhoramento do milho, consideram-se as questões de arquitetura de planta.

Quanto ao arranjo espacial de sementeira do milho, pode-se adotar convenientemente, diferentes espaçamentos entre linhas e entre plantas, visando adequar equipamentos e manejos. Entretanto, deve-se respeitar a composição genética dos diferentes materiais de milho, pois existe uma correlação alta e negativa entre densidade populacional de plantio e prolificidade. Este termo é utilizado para inferir sobre a quantidade de espigas produzidas por cada planta. Se um material é pouco prolífico, você não deverá colocar um número exagerado de plantas em um hectare, pois, com toda certeza, haverá plantas que não produzirão nenhuma espiga, reduzindo sua produtividade. O comportamento de correlação entre as duas características se dá de forma que, quando se aumenta uma das características, automaticamente, reduz-se a expressão da outra característica.

Por exemplo, considere uma variedade comercial cuja recomendação do fabricante seja para uma população de 55 mil plantas por hectare, poder-se-á alterar o arranjo espacial entre plantas e entre linhas, desde que não ultrapasse a densidade populacional recomendada. Caso seja colocado um quantitativo de plantas por hectare abaixo do recomendado, haverá o estímulo para aumentar o número de espigas por planta. Diante dessas informações de interação entre as duas variáveis, se o objetivo for a utilização do milho para silagem, situação em que aumenta-se o número de plantas por área, pois necessita-se de volume, deve-se dar preferência a variedades que tenham um comportamento altamente prolífico, visto a necessidade de obter proteína na silagem.

São inúmeros os fatores que incorrem em interações de genótipos por ambiente podendo alterar o comportamento da fisiologia do vegetal, sendo conferido pela expressão do fenótipo, como é caso de uma variedade de milho com enorme potencial produtivo, cultivada no Japão, e, por exemplo, de ciclo normal ou tardio, se plantada no Brasil, região de Cerrado, pode não produzir conforme seu local de recomendação, pelo fato do seu ciclo apresentar-se nessa nova condição edafoclimática, como sendo precoce ou superprecoce, não havendo tempo suficiente para o seu total desenvolvimento vegetativo. Trata-se do fotoperíodo que se refere ao acúmulo de horas de escuro. O quantitativo dessas horas é computado pelas plantas, que quando atingem o seu limite específico, a cultura passa do estágio vegetativo, para o estágio reprodutivo, sendo assim, se ela não se desenvolveu vegetativamente como esperado, a produtividade sofrerá alta redução, se chegar a produzir.

As amplitudes dos ciclos das espécies vegetais são definidas pela duração do estágio vegetativo, porque, passado para o estágio reprodutivo todas as variedades de uma determinada espécie têm a mesma duração. Para o milho existem alguns sistemas para a determinação dos estádios de desenvolvimento, mas devido à reação das plantas a diferentes ambientes/estresses, tornam-se imprecisos. Contudo, neste estudo, será abordado o sistema de “colar” foliar, desenvolvido pela Universidade do Estado de Iowa, nos Estados Unidos.

A caracterização para a classificação do estágio de desenvolvimento das plantas de milho, por “colar” foliar se dá pela presença visível do mesmo, neste caso, a folha será considerada como totalmente expandida. Este colar é a linha de demarcação entre o limbo ou lâmina foliar e a bainha foliar (FIGURA 5).

**Figura 5:** Parte de uma planta de milho mostrando a folha totalmente expandida e a inflorescência feminina



Fonte: Max Whendell de Paula Lima.

Quanto à fenologia do milho, os estádios de desenvolvimento serão descritos em dois grandes estádios, são eles, o vegetativo (V) e o reprodutivo (R), sendo estes, subdivididos, conforme se observa no Quadro 1.

### Quadro 1: Subdivisões dos estádios vegetativos e reprodutivos

Estádios Vegetativos		Estádios Reprodutivos	
VE	Emergência	R1	Embocamento
V1	Primeira folha	R2	Bolha d'água
V2	Segunda folha	R3	Leitoso
V3	Terceira folha	R4	Pastoso
Vn	Enésima folha	R5	Dente
VT	Pendoamento	R6	Maturidade

Obs.: os estádios reprodutivos são caracterizados pela emergência dos estilos estigmas (embocamento) e pelo surgimento e desenvolvimento de grãos na espiga.

A maturidade fisiológica dos grãos se dá em R6 e a umidade deverá estar em torno de 35%. Neste momento, as células da ponta do grão se rompem formando uma camada marrom ou preta, conhecida como “camada preta” (FIGURA 6). A formação desta camada preta, facilita a identificação a nível de campo.

**Figura 6:** Grãos de uma planta em R6, destacando a “camada preta”



**Fonte:** Max Whendell de Paula Lima.

Perante a toda incerteza climática que assola todas as regiões produtoras de milho, depara-se com os efeitos sintomáticos denominados de estresses, que podem ser decorrentes de diversos

fatores, como a falta de água e pelo frio, principalmente na germinação das sementes e na passagem para o estágio reprodutivo. Tais agentes de estresse promovem perdas altamente significativas na produtividade da cultura, que por sua vez, promove alteração no seu funcionamento fisiológico, na tentativa de burlar as severas pressões, podendo ocasionar em adaptações da cultura em nível de indivíduo ou mesmo em evolução da espécie.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A visão do homem como sendo o centro de todo o Universo, promoveu desde o início de sua racionalidade e até a atualidade, alterações constantes nos ecossistemas. Tais ações são revertidas em complicações nas inter-relações entre os componentes bióticos e abióticos, deixando sua sobrevivência e de todas as demais espécies sob prova de constantes pressões que resultam até mesmo em extinção.

Na busca pela sobrevivência, as espécies agem instintivamente por sua natureza, em que sobrevive a descendência mais forte, ou seja, mais adaptada às novas condições edafoclimáticas. Entretanto, o homem com avidez, busca adaptação daquilo que lhe convém, indo, na maioria das vezes, contra o que se diz natureza.

Para lhe conferir satisfação, as espécies de interesse econômico foram domesticadas e promovidos melhoramentos de acordo com seus objetivos. Entretanto, tem-se hoje, um agronegócio pleno e muito bem fundamentado, tanto na questão da genética (potencial produtivo) e da fisiologia (interação de comportamento com os diferentes ambientes). Inclui-se também as diversas tecnologias que promovem um manejo adequado e, nos dias de hoje, sustentável.

Com a cultura do milho não é diferente e, seu cultivo cosmopolito lhe exige fundamento científico e tecnológico visando alcançar e

superar produtividades constantemente crescentes, o que é plenamente atingível com o nível de controle das condições edafoclimáticas que se tem atualmente, resultando em previsões acertadas quanto ao manejo, aliando essa previsibilidade ao conhecimento sobre o comportamento fisiológico das plantas de milho perante as adversidades.

## REFERÊNCIAS

BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília, DF. EMBRAPA Informação Tecnológica, 2008.

DIEGUEZ, F. O milho e seus avós: os ancestrais do cereal. **Revista Superinteressante**. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/saude/o-milho-e-seus-avos-os-ancestrais-do-cereal/>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

MAHANNA, B., B. SEGLAR, F. OWENS, S. DENNIS, AND R. NEWELL. **Silage Zone Manual**. DuPont Pioneer, Johnston, IA. 2014.

RAMALHO, M. A. P.; DOS SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B.; DE SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; DE SOUZA, J. C. **Genética na agropecuária**. 5ª ed. Lavras.. Editora UFLA., 2012.

RIO, E. S.; LIMA, M. W. P. Org. **Pesquisas acadêmicas do agronegócio 2**. Uberlândia. Edibrás. 2017.

THE NEW YORK TIMES. Pesquisadores rastreiam as origens do milho. **The New York Times**. Disponível em: <<http://ultimosegundo.ig.com.br/ciencia/pesquisadores-rastreiam-as-origens-do-milho/n1237639445472.html>>. Acesso em: 09 fev. 2018.

## **AUTORES**

### **Antônio dos Santos Júnior**

Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Fitotecnia, professor UEMG (Unidade de Ituiutaba-MG), cursos de Agronomia, Tecnologia em Produção Sucroalcooleira, Tecnologia em Gestão Ambiental e Tecnologia em Agronegócio.

antonio\_agronomia@yahoo.com.br

### **Clélia Aparecida lunes Lapera**

Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia (Produção Vegetal), Mestre em Agronomia (Entomologia Agrícola). Professora da UEMG (Unidade de Ituiutaba-MG) nos cursos de Agronomia, Tecnologia em Gestão Ambiental, Tecnologia em Produção Sucroalcooleira e Tecnologia em Agronegócio.

iunes.c@gmail.com

**Edimilson Alves Barbosa**

Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Fitotecnia, professor do Instituto Federal do Norte de Minas Campus Almenara, professor de Agronomia.

agroedi1000@yahoo.com.br

**Eduardo José de Almeida**

Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Agronomia (Produção Vegetal), Professor UEMG (Unidade de Ituiutaba-MG), cursos de Agronomia, Tecnologia em Gestão Ambiental e Tecnologia em Agronegócio.

eduardojosea@bol.com.br

**Izabela Thais dos Santos**

Engenheira Agrônoma, Mestranda em agricultura UNESP Campus Botucatu.

iza\_agro@yahoo.com.br

**Jhansley Ferreira da Mata**

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Produção Vegetal pela Fundação Universidade Federal do Tocantins e Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal), pela FCAV-UNESP-Jaboticabal, professor UEMG (Unidade de Frutal-MG) do curso de Pós-graduação em Agroecologia no Cerrado e dos Cursos Superiores de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira e Tecnologia em Alimentos.

jhansley@agronomo.eng.br

**João Paulo Tadeu Dias**

Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Agronomia (Horticultura), Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade, professor UEMG (Unidade de Ituiutaba-MG), cursos de Agronomia, Tecnologia em Produção Sucroalcooleira e Tecnologia em Agronegócio.

diasagro2@gmail.com

**Josef Gastl Filho**

Graduando em Engenharia Agrônômica (UEMG, Unidade Ituiutaba-MG), Técnico em Agroindústria (IFTM, Campus Ituiutaba-MG).

josef.gastl@hotmail.com

**Leila Leal da Silva Bonetti**

Licenciada em Biologia, Plena, pelo Instituto Superior de Ensino e Pesquisa de Ituiutaba, Ituiutaba-MG, Mestre em Ciências Ambientais (Gestão dos Processos Ambientais e dos Recursos Naturais), pela REDEINCA – UEMG/UFRA, Belo Horizonte - MG; professora UEMG (Unidade de Ituiutaba-MG), Curso de Ciências Biológicas.

lealbonetti@gmail.com

**Max Whendell de Paula Lima**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agricultura, Mestre em Genética e Melhoramento Vegetal. Professor da UEMG (Unidade Ituiutaba-MG), nos cursos de Agronomia, Tecnologia em Gestão Ambiental, Tecnologia em Produção Sucroalcooleira e Tecnologia em Agronegócio.

limamw@yahoo.com.br

**Muriel Silva Vilarinho**

Bióloga, Engenheira Agrônoma, Mestre em Agronomia (Olericultura), Especialização em Química (Setor Bioenergético e Grãos Oleaginosas). Professora da UEMG (Unidade de Ituiutaba-MG) nos cursos de Agronomia, Tecnologia em Gestão Ambiental e Tecnologia em Agronegócio.

murielvilarinho@hotmail.com

**Paula Roberta Fagundes Paula**

Bióloga, aluna do Curso de Engenharia Agrônômica da UEMG (Unidade de Ituiutaba-MG).

pfagundespaula@yahoo.com.br

**Rita de Paula Lopes**

Engenheira Agrônoma.

rita.paula@ufv.br

**Rosa Maria Guerra Diniz**

Graduada em História Natural pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras Santo Tomaz de Aquino, em Uberaba-MG; Mestre em Agronomia (Fitotecnia) pela UFU (Uberlândia-MG); professora UEMG (Unidade de Ituiutaba-MG), cursos de Agronomia, Ciências Biológicas e Educação Física.

rguerradiniz@gmail.com

editora | **UEMG**

Esta edição foi elaborada no âmbito da Editora UEMG  
em outubro de 2018.

O texto foi composto em Minion Pro, a capa e abertura  
dos capítulos foram compostos em Myriad Pro Bold.