CIÊNCIAS AGRÁRIAS:
A MULTIDISCIPLINARIDADE DOS RECURSOS NATURAIS

VOLUME XXV



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Plínio Ferreira Pires

Ciências agrárias: a multidisciplinaridade dos recursos naturais

25ª ed.

Goiâna-GO
Editora Conhecimento Livre

Copyright© 2026 por Editora Conhecimento Livre

25ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pires, Plínio Ferreira
P638C Ciências agrárias: a multidisciplinaridade dos recursos naturais

/ Plínio Ferreira Pires. – Goiânia-GO

Editora Conhecimento Livre, 2026

30 f.: il
DOI: 10.37423/2026.edcl1310
ISBN: 978-65-5367-804-0
Modo de acesso: World Wide Web
Incluir Bibliografia

1. agronomia 2. engenharia-florestal 3. engenharia-agrícola 4. engenharia-de-pesca I. Pires, Plínio Ferreira II. Título

CDU: 630

https://doi.org/10.37423/2026.edcl1310

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Conselho Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

Dr. Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

Dra. Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos

Editora Conhecimento Livre
Goiânia-GO
2026

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 5
IMPORTÂNCIA DA CARACTERIZAÇÃO SENSORIAL DO SOLO NO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA ABORDAGEM PRÁTICA
Mônica Vieira Ribeiro
Lisiana Silveira de Moura
Cristiano da Silva Buss
DOI 10.37423/260611058

CAPÍTULO 2 16
FISIOLOGIA VEGETAL APLICADA AO ESTRESSE ABIÓTICO: MECANISMOS DE ADAPTAÇÃO E DESAFIOS PARA A AGRICULTURA
Nilder Silva Pereira
Manoela Safira Sousa E Silva
Rafaela Lobão Martins
Raquel Lobão Martins
Camila Nascimento Luz
Mariana Junqueira Pereira
Gabriel Feitosa de Melo
DOI 10.37423/260711189

Capítulo 1

10.37423/260611058

IMPORTÂNCIA DA CARACTERIZAÇÃO SENSORIAL DO SOLO NO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA ABORDAGEM PRÁTICA

Mônica Vieira Ribeiro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Campus Pelotas - Visconde da Graça (CAVG)

Lisiana Silveira de Moura
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Campus Pelotas - Visconde da Graça (CAVG)

Cristiano da Silva Buss
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Campus Pelotas - Visconde da Graça (CAVG)

RESUMO

O presente trabalho visa relatar uma experiência pedagógica desenvolvida por duas bolsistas do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), discentes dos cursos das Licenciaturas em Ciências biológicas e Química, do Campus Pelotas – Visconde da Graça. Com o propósito de promover a sensibilização e o conhecimento prático sobre a caracterização do solo em estudantes do 3º ano do Ensino Fundamental, de uma escola localizada no município de Pelotas/RS. Alinhando o conteúdo às determinações da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), a iniciativa consolidou-se na preparação e a inserção da turma na feira de ciências da escola, no ano letivo de 2025. A pesquisa foi conduzida por meio de uma metodologia pautada no estímulo e na interatividade, utilizando aulas expositivas dialogadas, recursos audiovisuais e, principalmente, atividades exploratórias semanais no entorno da escola, onde os alunos realizaram a coleta, análise e experimentos com amostras de solo, utilizando materiais reutilizáveis em uma ação orientada pelas bolsistas com o apoio da supervisora do programa na escola. Os resultados da intervenção, evidenciaram que os estudantes reconhecem a importância do solo e desenvolveram um bom conhecimento sobre sua composição no entorno escolar, preparando-os para transmitir o aprendizado na feira de ciências junto à comunidade escolar, interagindo com os visitantes da comunidade local. Em suma, evidencia-se a relevância de metodologias dinâmicas que promovam uma aprendizagem efetiva, bem como a contribuição do PIBID na antecipação da experiência profissional dos acadêmicos, proporcionando um contato direto com as complexidades do ambiente escolar. Observou-se que a adoção de métodos de ensino interativos e contextualizados, com foco na educação ambiental, propiciou uma experiência educativa interdisciplinar que converge para a aprendizagem significativa, mostrando-se eficaz para despertar o interesse dos alunos em questões socioambientais e reforçar o trabalho em equipe, transformando-os em protagonistas do próprio aprendizado.

Palavras-chave: Ensino de Ciências, Educação ambiental, Práticas Pedagógicas, PIBID.

INTRODUÇÃO

As aulas de Ciências nos anos iniciais do Ensino Fundamental são essenciais para a formação de sujeitos críticos e conscientes acerca das questões socioambientais. Entretanto, observa-se que o ensino sobre o solo, muitas vezes, é tratado de maneira superficial e descontextualizada, o que pode dificultar o engajamento dos estudantes e a construção de conhecimentos mais consistentes. O ensino de ciências de modo geral tem sido descontextualizado, apresentando conteúdos abstratos e apostando intensamente em resolução de exercícios que não exigem muito desenvolvimento e conhecimento do conteúdo (Viecheneski; Lorenzetti; Carletto, 2012). Diante disso, torna-se necessário adotar metodologias que aproximem os estudantes da realidade em que estão inseridos, promovendo experiências práticas e interativas.

Nesse contexto, fazer uso de estratégias pedagógicas que ultrapassem o ensino tradicional, favorecendo a aprendizagem significativa, por meio da experimentação e da interação com o ambiente, torna as aulas mais dinâmicas, promovendo a participação dos estudantes na construção de seus próprios conhecimentos. Tais práticas encontram respaldo nas diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que orienta o desenvolvimento de competências relacionadas à compreensão do mundo natural de forma contextualizada. Nesse sentido, justifica-se a realização de propostas pedagógicas que valorizem a investigação e o protagonismo estudantil. Em relação ao estudo dos solos, tais práticas contribuem para o desenvolvimento de uma consciência ambiental desde os anos iniciais da vida escolar.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo relatar uma experiência pedagógica desenvolvida por bolsistas do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), dos cursos de Licenciatura em Ciências Biológicas e Química do Campus Pelotas – Visconde da Graça (CaVG) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul). O projeto elaborado foi aplicado em uma escola estadual de Ensino Fundamental e Médio, do município de Pelotas/RS, com estudantes do 3º ano do Ensino Fundamental. A proposta teve como foco a sensibilização e a construção de conhecimentos acerca da caracterização do solo.

A metodologia adotada baseou-se em uma abordagem interativa, envolvendo aulas expositivas dialogadas, utilização de recursos audiovisuais e atividades exploratórias semanais no entorno escolar, nas quais os estudantes realizaram coletas, análises e experimentações com amostras de solo,

utilizando materiais reutilizáveis. Como culminância, os estudantes participaram de uma feira de ciências na Escola, socializando os conhecimentos construídos com a comunidade escolar.

METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como um relato de experiência de abordagem qualitativa, pois todo o seu embasamento está ancorado em valores que não podem ser quantificados como: percepções, comportamentos e perspectivas dos estudantes. O trabalho pedagógico ocorreu no ano letivo de 2025 com a turma 31 do 3º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública estadual no município de Pelotas/RS. O planejamento e o desenvolvimento do trabalho foram realizados por discentes vinculadas ao Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), representando as licenciaturas em Química e Ciências Biológicas do CaVG – IFSul, acompanhados da Supervisora do PIBID que é professora na Escola.

A motivação da escolha do tema, foi baseada na (BNCC) em concordância com o ano em que os estudantes estavam cursando. A proposta teve como foco a construção de conhecimentos sobre a caracterização do solo por meio de práticas pedagógicas interativas e contextualizadas. O cronograma de atividades teve início em 13 de junho de 2025, com sessões semanais realizadas às sextas-feiras, das 13:30h às 14:30h. O grupo de estudo compreendia 13 estudantes, com idades entre 8 e 10 anos. As pibidianas atuaram sob a monitoria da professora supervisora da instituição e as ações pedagógicas foram estruturadas com o intuito de compreensão dos conteúdos propostos, bem como o de capacitar os discentes para a exposição na Feira de Ciências da Escola em questão. A proposta de feira de ciências na escola foi feita para que se pudesse proporcionar uma maior interação entre os pibidianos na escola e os estudantes, em ações que promovam práticas pedagógicas enriquecedoras para ambos os envolvidos.

A metodologia adotada pautou-se no estímulo à interatividade e na alternância entre teoria e prática, com encontros semanais, fundamentando-se em pressupostos da aprendizagem significativa e de abordagens investigativas no ensino de Ciências, que valorizam o protagonismo do estudante e a construção ativa do conhecimento.

As atividades foram organizadas em formato de oficinas pedagógicas, estruturadas nas seguintes etapas:

1. ***Aulas expositivas dialogadas:***

Inicialmente, foram desenvolvidas aulas com mediação das bolsistas, utilizando recursos audiovisuais, como vídeos educativos adaptados à faixa etária dos estudantes. Nessa etapa, foram introduzidos conceitos relacionados à formação do solo, seus componentes (matéria orgânica, minerais, água e ar) e sua importância para o equilíbrio ambiental, buscando sempre a participação ativa dos alunos por meio de questionamentos e trocas de ideias.

2. ***Trabalho de campo e coleta de amostras:***

Na sequência, os estudantes participaram de uma atividade exploratória no entorno da escola, onde realizaram a coleta de amostras de solo em diferentes espaços, como jardim, horta e áreas de circulação. Para isso, utilizaram materiais reutilizáveis coletados por eles mesmos em suas residências, incentivando também práticas sustentáveis e o engajamento com a atividade, conforme podemos observar na Figura 1 a seguir:

Figura 1 - Coleta das amostras.



Fonte: Autoras, 2025.

3. ***Análise e experimentação em sala de aula:***

As amostras coletadas foram analisadas em sala por meio de testes simples de caracterização, incluindo observação da cor, textura (tato), odor e presença de organismos ou resíduos orgânicos com lupas. Além disso, foram realizados experimentos práticos para demonstrar propriedades do solo, como permeabilidade e a importância da cobertura vegetal na prevenção da erosão, favorecendo a

compreensão dos fenômenos de forma concreta. Durante essa etapa os estudantes trabalharam o conhecimento científico e a importância dos sentidos, conforme se observa na Figura 2 a seguir:

Figura 2 - Experimentação em sala de aula.



Fonte: Autoras, 2025.

4. Sistematização e preparação para a feira de ciências:

Como culminância, os estudantes organizaram os conhecimentos construídos em cartazes e materiais expositivos, preparando-se para apresentação na feira de ciências da escola. Nesse momento, atuaram como protagonistas na socialização do conhecimento, interagindo com a comunidade escolar e explicando os conceitos aprendidos. Os estudantes utilizaram garrafas PET para fazerem as filtragens de diferentes texturas do solo, com filtros de coar café e fizeram uso de potes de sorvete e bandejas de isopor para armazenar os diferentes tipos de solo. Todos os materiais foram identificados em local 1 (com etiqueta amarela), local 2 (com etiqueta azul) e local 3 (etiqueta verde), conforme as diferentes regiões de coleta das amostras. Para a verificação visual das amostras utilizaram lupas. E borrifadores de água para sentir o aroma das amostras de solo molhadas. A figura 3, a seguir, representa essa etapa do desenvolvimento.

Figura 3 - Preparação para a feira de ciências.



Fonte: Autoras, 2025.

No que se refere à coleta de dados para análise, optamos por fazer observações sistemáticas durante o desenvolvimento das atividades, registros em diário de campo das bolsistas, produções dos estudantes (cartazes e falas durante as apresentações) e registros fotográficos das etapas do projeto, respeitando-se os cuidados éticos quanto ao uso de imagem. A Figura 4 apresenta parte do material captado durante a apresentação do trabalho na feira de ciências da escola:

Figura 4 - Apresentação na feira de ciências.



Fonte: Autoras, 2025.

REFERENCIAL TEÓRICO

O solo é de fundamental importância para o equilíbrio de um ecossistema. Dele depende a alimentação que é produzida na terra bem como serve de abrigo para os indivíduos que habitam nela. O solo é um

recurso fundamental para a sobrevivência das gerações. Aprender a dar valor a importância do solo e assim preservá-lo é fundamental para o futuro do planeta (Nascimento; Marques, 2025).

Trabalhar sobre conhecimentos dos solos com o Ensino Fundamental é uma prática enriquecedora para uma construção contínua de saberes, gerada na dinâmica do fazer coletivo em prol da preservação do solo e, por consequência, do equilíbrio do ecossistema. Isso melhora a percepção dos estudantes em relação ao mundo ao seu redor, instigando-os a cuidar do meio ambiente. O que as crianças aprendem nas fases iniciais de seus estudos contribui para tornarem-se indivíduos com comportamentos diferenciados e preocupados com a sustentabilidade do planeta (Lima, 2025).

Os trabalhos com amostras de solo do entorno da escola, assim como reconhecer a importância do solo, está em concordância com o objeto do conhecimento Usos do Solo, indicados nas habilidades (EF03CI09) e (EF03CI10) do 3° ano do Ensino Fundamental, da unidade temática Terra e Universo que está contida na Base Nacional Comum Curricular de 2017 (BNCC). Esse trabalho manifesta que a exploração do entorno da escola e as experiências com o solo, aguçam a curiosidade e a criatividade dos estudantes. Além disso, é capaz de promover circunstâncias em que as crianças poderão formar consciência de preservação do meio onde estão inseridos e propagar o que aprenderam em suas residências, tornando-se agentes de cuidado com o meio ambiente.

As aulas práticas têm uma importância ímpar nesse sentido, pois apresentam a característica de extrapolar o que foi aprendido em sala de aula, facilitando a compreensão e a o aprendizado. A vivência prática com o solo viabiliza a concretização do saber abstrato, fomentando uma aprendizagem significativa por parte do estudante (Lopes, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicaram um avanço significativo na percepção dos estudantes e no desenvolvimento de uma compreensão mais ampla sobre a importância do solo e sua composição. A abordagem prática permitiu que as crianças superassem a visão do solo apenas como "terra" ou "sujeira", passando a reconhecê-lo como um sistema vivo e dinâmico. A comparação entre as amostras coletadas evidenciou a diversidade de solos presentes em um mesmo ambiente, estimulando o pensamento crítico e a curiosidade científica.

Ao longo do processo, observou-se que o uso de metodologias ativas e materiais sustentáveis reforçou o comprometimento dos estudantes e a cooperação para o trabalho em equipe. Além disso, demonstraram maior interesse e um pensamento mais consciente em relação às questões ambientais. Durante o desenvolvimento do trabalho, também pudemos perceber um maior entusiasmo em participar das atividades, fato percebido, por exemplo, na quantidade de materiais trazidos por eles para serem utilizados em sala de aula. A imensa quantidade de perguntas feitas durante as saídas para explorar o pátio também dão evidências dessa percepção. A Figura 5, a seguir, demonstra esse engajamento, bem como o trabalho em equipe e o protagonismo estudantil favorecido por essa experiência:

Figura 5 - Coleta de material no pátio da escola.



Fonte: Autoras, 2025.

Também pudemos constatar que os estudantes demonstraram domínio sobre a composição do solo local e expressaram entusiasmo ao se prepararem para a feira de ciências, o que evidencia a eficácia da alfabetização científica iniciada nos anos iniciais. Este trabalho preparou os estudantes para explanar à comunidade visitante da feira de ciências os conhecimentos construídos durante a produção da atividade. Portanto, percebe-se que a adoção de métodos de ensino interativos, com foco na educação ambiental, demonstra ser eficaz em despertar o interesse dos alunos para importantes questões socioambientais e reforçam o trabalho em equipe.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência pedagógica demonstra que o estudo prático e contextualizado do solo, constitui um instrumento eficaz para a educação ambiental e o ensino de ciências. Ademais, a integração entre o PIBID e a rede pública de ensino estabeleceu uma simbiose produtiva: a vivência da regência para os bolsistas e o acesso a estratégias lúdicas de sensibilização ecológica para os estudantes. Em suma, a utilização de métodos interativos pautados pela BNCC é essencial para conectar a realidade local a desafios socioambientais globais. O protagonismo demonstrado na feira de ciências marca a consolidação desse saber, capacitando os estudantes como agentes multiplicadores de sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em: 4 abr. 2026.

LIMA, Dayane da Silva. Atividades lúdicas e práticas sensoriais para explorar a importância do solo em uma turma de educação infantil. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agroecologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2025. Disponível em: https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/43603/1/DAYANE%20DA%20SILVA%20LIMA%20-%20TCC%20AGROECOLOGIA%20CDSA%202025.pdf. Acesso em: 4 abr. 2026.

LOPES, Monique Porto. Educação em solos: práticas pedagógicas aplicadas aos anos iniciais do ensino fundamental. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2021. Disponível em: https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1771/27401_tcc_moniqueversaao_final_entrega.pdf. Acesso em: 4 abr. 2026.

NASCIMENTO, Márcio Silveira; MARQUES DE OLIVEIRA, Jean Dalmo. Agenda 2030: a importância da educação em solos para alcançar as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, [S. l.], v. 42, n. 1, p. 341–363, 2025. DOI: 10.63595/remea.v42i1.16822. Disponível em: https://periodicos.furg.br/remea/article/view/16822. Acesso em: 5 abr. 2026.

SANTOS, Viviane Vasconcelos dos. Práticas pedagógicas em educação em solos em uma escola do campo: abordagem interativa e contextualizada. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação Contextualizada) – Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2024. Disponível em: https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/40085/1/VIVIANE%20VASCONCELOS%20DOS%20SANTOS%20-%20TCC%20ESP.%20EDUCA%C3%87%C3%83O%20CONTEXTUALIZADA%20CDSA%202024.pdf. Acesso em: 4 abr. 2026.

VIECHENESKI, Juliana Pinto; LORENZETTI, Leonir; CARLETTO, Marcia Regina. Desafios e práticas para o ensino de ciências e alfabetização científica nos anos iniciais do ensino fundamental. Atos de Pesquisa em Educação, Blumenau, v. 7, n. 3, p. 853–876, 2012. Disponível em: https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/atosdepesquisa/article/view/ 3470/2182. Acesso em: 5 abr. 2026.

Capítulo 2

10.37423/260711189

FISIOLOGIA VEGETAL APLICADA AO ESTRESSE ABIÓTICO: MECANISMOS DE ADAPTAÇÃO E DESAFIOS PARA A AGRICULTURA

Nilder Silva Pereira — *Instituto Federal do Maranhão*

Manoela Safira Sousa E Silva — *Instituto Federal do Maranhão*

Rafaela Lobão Martins — *Instituto Federal do Maranhão*

Raquel Lobão Martins — *Instituto Federal do Maranhão*

Camila Nascimento Luz — *Instituto Federal do Maranhão*

Mariana Junqueira Pereira — *Pontifícia Universidade Católica de Goiás*

Gabriel Feitosa de Melo — *Universidade Estadual do Maranhão*

1 INTRODUÇÃO

O estresse abiótico pode ser entendido como o conjunto de fatores ambientais não vivos que comprometem o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas cultivadas. Seca, salinidade, temperaturas extremas e desequilíbrios nutricionais estão entre os agentes mais estudados desse distúrbio fisiológico, e a intensidade dos danos varia conforme a espécie e o tempo de exposição ao fator adverso (FAROOQ et al., 2009). Em muitos casos, esses fatores ocorrem de forma combinada no campo, dificultando o diagnóstico.

Nas últimas décadas a agricultura mundial vem enfrentando perdas de produtividade associadas a condições ambientais desfavoráveis, situação agravada pela expansão das lavouras para áreas marginais e mais sujeitas a instabilidades climáticas. Esse processo tem levado pesquisadores a repensarem práticas antigas de manejo que já não se mostram suficientes. De acordo com o IPCC (2022), os eventos climáticos extremos têm se tornado mais frequentes e intensos, ampliando a vulnerabilidade dos sistemas produtivos ao redor do mundo.

A relevância econômica do assunto fica clara quando se percebe que boa parte da queda de rendimento das principais culturas alimentares está ligada a fatores abióticos, e não propriamente a pragas ou doenças, como muitas vezes se imagina (ZAHUR et al., 2013). Ainda assim, esse tipo de perda costuma receber menos atenção do produtor do que os prejuízos causados por insetos ou patógenos visíveis na lavoura. Isso torna o entendimento da fisiologia do estresse uma ferramenta praticamente indispensável para quem planeja sistemas agrícolas mais estáveis e resistentes às oscilações do clima.

Do ponto de vista científico, estudar o estresse abiótico permite reunir conhecimentos de fisiologia, bioquímica, biologia molecular e melhoramento genético em torno de um mesmo problema prático, cada vez mais presente na rotina do produtor rural. Compreender como a planta percebe o estímulo ambiental e como ativa suas vias internas de sinalização é essencial para orientar tanto o manejo de curto prazo quanto os programas de melhoramento de longo prazo (ASLAM et al., 2022), o que reforça o caráter multidisciplinar dessa área da fisiologia vegetal

O objetivo deste capítulo é apresentar, de forma organizada, as bases fisiológicas envolvidas na resposta das plantas aos principais tipos de estresse abiótico, discutindo os mecanismos de percepção, sinalização e adaptação celular que ocorrem em cada caso. Pretende-se ainda apresentar as estratégias

agronômicas, genéticas e biotecnológicas hoje empregadas para aumentar a tolerância das culturas, como discutido por Calvo, Nelson e Kloepper (2014) ao tratarem do uso de bioestimulantes na lavoura moderna.

Para isso, o capítulo foi dividido em cinco seções além desta introdução. Primeiro são discutidas as bases fisiológicas gerais das plantas sob estresse; em seguida, detalham-se as respostas específicas a cada tipo de fator ambiental adverso enfrentado pelas culturas. Depois são apresentadas as principais estratégias de tolerância disponíveis e, por fim, as perspectivas futuras da fisiologia vegetal aplicada à agricultura, tema também tratado em publicações técnicas recentes da Embrapa (LANNA et al., 2021).

2 BASES FISIOLÓGICAS DAS PLANTAS SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE

A fotossíntese é, sem dúvida, o processo fisiológico mais sensível às condições de estresse ambiental, já que depende diretamente da disponibilidade de água, da abertura dos estômatos e da integridade do aparato fotoquímico presente nos cloroplastos. Sob condições adversas, a redução da condutância estomática limita a difusão do CO2 até o mesofilo foliar, o que diminui de forma quase imediata a taxa de assimilação de carbono pela planta (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009), ainda que essa limitação inicial costume ser reversível quando o estresse é passageiro.

As relações hídricas envolvem a absorção de água pelas raízes, o transporte via xilema e a transpiração foliar, três processos que, juntos, determinam o status hídrico das células ao longo de toda a planta. Qualquer desequilíbrio nesse sistema reduz o potencial hídrico foliar e afeta diretamente a turgescência das células-guarda e dos tecidos em fase de expansão (PIMENTEL; PEREZ, 2000), de modo que manter o turgor celular acaba sendo um bom indicador prático da tolerância de uma cultivar ao déficit hídrico.

A respiração celular também é afetada de forma indireta pelo estresse, uma vez que o suprimento de substratos respiratórios depende, em grande parte, da atividade fotossintética realizada anteriormente pela planta. Em situações de estresse mais prolongado, observa-se um aumento proporcional da respiração de manutenção em detrimento da respiração ligada ao crescimento, o que compromete o acúmulo líquido de biomassa ao longo do ciclo produtivo (FAROOQ et al., 2009) e representa, de certa forma, o custo energético da aclimatação ao ambiente desfavorável.

No nível celular, o metabolismo das plantas estressadas passa por alterações importantes na síntese de proteínas, no equilíbrio hormonal e, principalmente, na produção de espécies reativas de oxigênio, as chamadas EROs. O acúmulo excessivo dessas moléculas provoca peroxidação lipídica, danos a proteínas e ao próprio DNA, sendo considerado um dos principais mecanismos de injúria celular associados ao estresse abiótico (MITTLER, 2002), o que explica por que os sistemas antioxidantes ganham tanto destaque nas pesquisas atuais.

Os sistemas antioxidantes enzimáticos, como a superóxido dismutase, a catalase e a peroxidase do ascorbato, atuam de forma coordenada para neutralizar as EROs geradas em situações de estresse, funcionando quase como uma linha de defesa em cascata dentro da célula. Compostos não enzimáticos, como ascorbato, glutationa e flavonoides, complementam essa proteção (HASANUZZAMAN; FUJITA, 2022), e é justamente o equilíbrio entre produção e eliminação de EROs que acaba determinando o grau de dano oxidativo sofrido pelos tecidos vegetais.

O crescimento e o desenvolvimento da planta dependem de processos contínuos de divisão e expansão celular, ambos muito sensíveis à disponibilidade de água e de energia disponível no sistema. Sob estresse, a alocação de recursos é redirecionada de forma a priorizar estruturas ligadas à sobrevivência, como o sistema radicular, em detrimento do crescimento da parte aérea (MONTEIRO, 2009), o que evidencia uma plasticidade fenotípica importante para a sobrevivência em ambientes que mudam com frequência.

A regulação hormonal tem papel decisivo na coordenação de todas essas respostas fisiológicas ao estresse, funcionando como uma espécie de sistema de comunicação interna da planta. O ácido abscísico, conhecido pela sigla ABA, atua como o principal mensageiro na sinalização do déficit hídrico e salino, promovendo o fechamento dos estômatos e a ativação de genes ligados à tolerância (ZHU, 2002); outros hormônios, como etileno, jasmonatos e citocininas, também participam dessa modulação, ainda que de forma mais coadjuvante.

De modo geral, as bases fisiológicas apresentadas até aqui mostram que a resposta ao estresse abiótico não acontece de forma isolada, mas sim como resultado da integração entre processos metabólicos, hormonais e de sinalização celular ocorrendo ao mesmo tempo. Essa visão mais sistêmica ajuda a entender por que espécies diferentes, e até cultivares da mesma espécie, apresentam graus tão distintos de tolerância a um mesmo fator ambiental (WANG; VINOCUR; ALTMAN, 2003), o que serve de base para a discussão das respostas específicas na próxima seção.

3 RESPOSTAS FISIOLÓGICAS AOS DIFERENTES TIPOS DE ESTRESSE ABIÓTICO

A seca é, sem exagero, um dos estresses abióticos mais limitantes à produção agrícola em escala mundial, afetando desde a germinação até o enchimento final dos grãos nas principais culturas de interesse comercial. Sob déficit hídrico, as plantas costumam reduzir a área foliar e a condutância estomática como estratégia para diminuir a perda de água pela transpiração (PIMENTEL; PEREZ, 2000), e embora essas respostas protejam o status hídrico da planta, elas comprometem diretamente a produtividade final da lavoura.

Em nível bioquímico, o déficit hídrico costuma induzir o acúmulo de solutos compatíveis, como prolina e glicina betaína, que contribuem para o chamado ajuste osmótico das células vegetais. Esse mecanismo permite manter a turgescência mesmo quando o potencial hídrico do solo está bastante reduzido (ZAHUR et al., 2013), e junto a ele costuma ocorrer também a indução de proteínas LEA, associadas à proteção de membranas durante os episódios de desidratação mais severa enfrentados pela cultura.

A salinidade do solo, por sua vez, provoca dois efeitos combinados sobre a fisiologia da planta: um componente osmótico que aparece logo no início do estresse e um componente iônico que se manifesta depois, de forma mais lenta. Na fase osmótica ocorre inibição rápida do crescimento das folhas jovens, devido à queda do potencial hídrico externo, enquanto na fase iônica há acúmulo tóxico de sódio e cloreto nos tecidos mais velhos da planta (FLOWERS, 2004), distinção que é essencial para diagnosticar corretamente o estresse salino em condições de campo.

A tolerância à salinidade depende de mecanismos como a exclusão iônica nas raízes, a compartimentalização do sódio dentro do vacúolo e a manutenção da homeostase de potássio nas células vegetais. Transportadores da família HKT têm papel central na exclusão de sódio das folhas em diversas espécies cultivadas (MUNNS; TESTER, 2008), motivo pelo qual a seleção de genótipos com maior capacidade de exclusão iônica segue sendo uma das principais metas dos programas de melhoramento voltados a solos salinizados.

Estudos sobre sinalização molecular mostram que a chamada via SOS, mediada pela proteína quinase SOS2 associada ao sensor de cálcio SOS3, regula diretamente a atividade do transportador SOS1 presente na membrana plasmática das células radiculares. Esse sistema coordena o efluxo de sódio para fora da célula, reduzindo assim sua toxicidade (ZHU, 2002), e curiosamente essa via também

dialoga com respostas ativadas pelo estresse hídrico, o que evidencia certa sobreposição entre esses dois mecanismos de defesa.

As temperaturas extremas, tanto o calor quanto o frio intenso, alteram de forma significativa a fluidez das membranas celulares e a atividade das enzimas ligadas à fotossíntese. Sob altas temperaturas ocorre desnaturação parcial de proteínas do fotossistema II e aumento da fotorrespiração, o que reduz consideravelmente a eficiência fotossintética líquida da planta (WANG; VINOCUR; ALTMAN, 2003); nessas condições, proteínas de choque térmico funcionam como verdadeiras chaperonas moleculares, ajudando no correto dobramento das proteínas celulares.

Já as baixas temperaturas comprometem a integridade das membranas por causa da rigidificação dos lipídeos que as compõem, favorecendo o extravasamento celular e, em casos mais extremos, até a formação de gelo dentro das células. A aclimatação ao frio envolve mudanças na composição lipídica das membranas e a ativação de fatores de transcrição da chamada via CBF (WANG; VINOCUR; ALTMAN, 2003), respostas que se mostram determinantes para a sobrevivência de culturas sensíveis expostas a geadas tardias no início do ciclo.

As deficiências ou os excessos de nutrientes minerais também representam formas relevantes de estresse abiótico, afetando processos metabólicos essenciais para o desenvolvimento da planta. A carência de nitrogênio, por exemplo, compromete a síntese de clorofila e de proteínas estruturais, enquanto o excesso de determinados sais no solo pode gerar toxidez iônica direta nos tecidos (DIDONET, [200-]), o que reforça a importância de um diagnóstico nutricional preciso em áreas já sujeitas a outros tipos de estresse.

O estresse por radiação, principalmente quando o excesso de luz aparece combinado a outros fatores adversos, provoca fotoinibição do aparato fotossintético e aumento na produção de espécies reativas de oxigênio dentro dos cloroplastos. A dissipação do excesso de energia luminosa por meio do ciclo das xantofilas funciona como um mecanismo fotoprotetor bastante relevante nessas situações (ZHANG et al., 2022), evitando assim danos que poderiam ser irreversíveis aos centros de reação fotossintéticos da folha.

Combinações simultâneas de estresses, como seca associada a temperaturas muito altas, costumam ser mais prejudiciais do que cada fator isoladamente, já que ativam respostas fisiológicas que, em certa medida, entram em conflito entre si. O fechamento estomático necessário para conservar água, por

exemplo, pode agravar o superaquecimento das folhas sob calor intenso (ZAFAR et al., 2020), o que exige estratégias de manejo pensadas de forma integrada para lidar com múltiplos estresses ocorrendo ao mesmo tempo.

Em praticamente todos os tipos de estresse discutidos até aqui, a produção de EROs aparece como resposta comum, funcionando tanto como sinal de dano celular quanto como molécula sinalizadora de processos de aclimatação. O sistema antioxidante, enzimático e não enzimático, atua como elemento regulador dessa dupla função exercida pelas espécies reativas de oxigênio (ZHANG et al., 2022), denominador comum que ajuda a explicar a chamada tolerância cruzada entre diferentes tipos de estresse abiótico.

O Quadro 1 reúne, de forma resumida, os principais tipos de estresse abiótico discutidos nesta seção, relacionando-os aos efeitos fisiológicos mais evidentes e aos mecanismos de resposta mais estudados na literatura especializada sobre o tema. Essa organização visual facilita a comparação entre os diferentes processos apresentados ao longo do texto (FAROOQ et al., 2009; MUNNS; TESTER, 2008), servindo como um bom resumo antes de avançarmos para as estratégias de manejo discutidas na próxima seção.

Quadro 1 — Tipos de estresse abiótico, efeitos fisiológicos e mecanismos de resposta

Tipo de estresse	Principais efeitos fisiológicos	Mecanismos de resposta estudados
Seca (déficit hídrico)	Fechamento estomático, redução da fotossíntese, murcha e menor enchimento de grãos.	Ajuste osmótico com prolina e glicina betaína; proteínas LEA; sinalização via ABA.
Salinidade	Fase osmótica (inibição do crescimento) seguida de fase iônica (toxidez de Na+ e Cl-).	Exclusão iônica pelas raízes; transportadores HKT; via de sinalização SOS.
Temperaturas extremas	Desnaturação proteica, fotoinibição, rigidificação ou fluidificação de membranas.	Proteínas de choque térmico (HSP); ajuste lipídico de membrana; fatores CBF.
Deficiência/excesso de nutrientes	Clorose, menor síntese proteica, toxidez iônica em casos de excesso.	Ajuste da absorção radicular; compartimentalização vacuolar de íons.
Radiação excessiva	Fotoinibição do fotossistema II; aumento de EROs nos cloroplastos.	Ciclo das xantofilas; dissipação térmica de energia; pigmentos fotoprotetores.

Fonte: elaborado pelo autor, com base em Farooq et al. (2009), Munns e Tester (2008), Wang, Vinocur e Altman (2003) e Zhang et al. (2022).

4 ESTRATÉGIAS PARA AUMENTAR A TOLERÂNCIA DAS PLANTAS AO ESTRESSE

O manejo agronômico costuma ser a primeira linha de defesa contra os efeitos do estresse abiótico no campo, incluindo práticas simples como o ajuste da época de semeadura, o manejo mais criterioso da irrigação e o uso de cobertura vegetal do solo. A escolha adequada da densidade de plantio também ajuda a reduzir a competição por água em períodos de escassez hídrica (MONTEIRO, 2009), e mesmo sendo medidas relativamente simples, elas têm impacto significativo na estabilidade da produção em regiões sujeitas a estresses recorrentes.

O melhoramento genético convencional busca selecionar genótipos com maior tolerância aos estresses abióticos, explorando a variabilidade natural presente nos bancos de germoplasma disponíveis. Características como sistema radicular mais profundo e maior eficiência no uso da água são alvos frequentes de seleção nos programas de melhoramento (WANG; VINOCUR; ALTMAN, 2003), embora reunir todas essas características em uma única cultivar comercial ainda exija um tempo considerável de trabalho no campo.

As ferramentas de edição gênica, com destaque para o sistema CRISPR/Cas, têm acelerado bastante a obtenção de genótipos tolerantes, permitindo modificar de forma precisa genes ligados à sinalização e à homeostase iônica da planta. Genes envolvidos na via do ABA e nos transportadores de sódio têm sido alvos frequentes dessas abordagens mais recentes (ZAFAR et al., 2020), representando uma alternativa bem mais rápida se comparada ao melhoramento tradicional baseado apenas em cruzamentos sucessivos.

Estudos recentes têm mostrado que é possível usar a edição gênica para conferir tolerância simultânea a múltiplos estresses abióticos e bióticos em culturas de grande importância econômica, como o arroz e o trigo. A modulação de fatores de transcrição relacionados ao estresse tem se mostrado uma via especialmente promissora nesse sentido (LI et al., 2022), embora questões regulatórias e de aceitação pública ainda representem desafios importantes para a adoção mais ampla dessas tecnologias no campo.

O uso de bioestimulantes vem se consolidando como estratégia complementar interessante para aumentar a tolerância das plantas ao estresse, incluindo produtos como extratos de algas marinhas, ácidos húmicos e microrganismos benéficos aplicados via solo ou foliar. Esses produtos atuam estimulando o crescimento radicular, a absorção de nutrientes e a produção de compostos protetores

pela própria planta (CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014), e o mercado global desses insumos vem crescendo de forma expressiva nos últimos anos, o que reflete seu potencial de aplicação prática.

A inoculação com rizobactérias promotoras de crescimento é outra abordagem biológica interessante para mitigar estresses abióticos, especialmente a salinidade e a seca em regiões mais críticas. Esses microrganismos podem alterar os níveis hormonais da planta hospedeira e favorecer a exclusão de íons tóxicos, como já demonstrado em estudos conduzidos com arroz de terras altas no Brasil (LANNA et al., 2021), estratégia que se destaca justamente pelo baixo custo e pelo menor impacto ambiental em relação aos insumos químicos convencionais.

Reguladores vegetais sintéticos, como o ácido abscísico exógeno e algumas citocininas, também vêm sendo testados para modular respostas fisiológicas específicas sob estresse, embora seu uso em larga escala ainda esbarre em limitações de custo e de logística de aplicação. A aplicação foliar desses compostos pode, em tese, antecipar respostas de proteção antes mesmo da ocorrência do estresse mais severo (ZHU, 2002), o que é especialmente útil quando associado a sistemas de previsão climática de curto prazo.

Condicionadores de solo, como o gesso agrícola e a matéria orgânica incorporada, ajudam a atenuar os efeitos da salinidade e da compactação sobre o sistema radicular das culturas plantadas na área cultivada. A melhoria da estrutura física do solo favorece a infiltração de água e reduz o acúmulo superficial de sais na zona radicular (FLOWERS, 2004), sendo por isso uma prática bastante utilizada em áreas irrigadas que sofrem com problemas de salinização secundária ao longo dos anos de cultivo.

Práticas conservacionistas, como o plantio direto e a rotação de culturas, favorecem a manutenção da umidade do solo e da atividade microbiana benéfica, contribuindo de forma indireta para a tolerância das plantas ao estresse hídrico. A cobertura vegetal permanente reduz a evaporação direta da água e amortece variações bruscas de temperatura na superfície do solo (PIMENTEL; PEREZ, 2000), o que torna esses sistemas de manejo bastante compatíveis com os princípios da agricultura sustentável e de conservação de solo.

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre as principais estratégias discutidas ao longo desta seção, considerando o tipo de estresse-alvo, o mecanismo de ação predominante em cada caso e o horizonte de aplicação prática no curto ou no longo prazo. Essa síntese ajuda a priorizar estratégias conforme o contexto produtivo e os recursos disponíveis (CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014; ZAFAR et al., 2020),

já que a combinação de múltiplas abordagens costuma trazer resultados bem superiores à adoção isolada de uma única técnica.

Tabela 1 — Comparativo entre estratégias de aumento da tolerância ao estresse abiótico

Estratégia	Estresse-alvo	Mecanismo de ação	Horizonte de aplicação
Manejo agronômico	Seca; temperaturas extremas	Ajuste de época de plantio, irrigação e cobertura do solo	Curto prazo
Melhoramento genético convencional	Múltiplos estresses	Seleção de genótipos com maior tolerância natural	Longo prazo
Edição gênica (CRISPR/Cas)	Seca, salinidade, calor	Modificação precisa de genes de sinalização e transporte iônico	Médio a longo prazo
Bioestimulantes	Seca, salinidade, nutricional	Estímulo ao crescimento radicular e à produção de protetores	Curto a médio prazo
Rizobactérias promotoras de crescimento	Salinidade, seca	Alteração hormonal e exclusão de íons tóxicos	Curto a médio prazo
Condicionadores de solo	Salinidade, compactação	Melhoria da estrutura física e da infiltração de água	Médio prazo

Fonte: elaborado pelo autor, com base em Calvo, Nelson e Kloepper (2014), Zafar et al. (2020) e Lanna et al. (2021).

5 PERSPECTIVAS DA FISIOLOGIA VEGETAL PARA A AGRICULTURA DO FUTURO

As mudanças climáticas globais ampliam ainda mais a relevância da fisiologia vegetal como ciência estratégica para a segurança alimentar, já que a frequência de eventos extremos tende a aumentar nas próximas décadas. O IPCC (2022) destaca justamente que a adaptação dos sistemas agrícolas é urgente diante dos riscos crescentes à produção mundial de alimentos, cenário que impõe a necessidade de antecipar respostas tecnológicas fundamentadas no conhecimento fisiológico já disponível sobre as culturas.

Entre as inovações científicas mais promissoras está o uso integrado de genômica funcional e fenotipagem de alto rendimento para identificar genes associados à tolerância a múltiplos estresses ao mesmo tempo, em diferentes espécies cultivadas. Essa abordagem permite acelerar de forma considerável a seleção de genótipos superiores dentro dos programas de melhoramento (ZAFAR et al.,

2020), sendo a integração entre dados ômicos e fenótipos observados a campo um avanço metodológico bastante relevante para toda a área.

As ferramentas biotecnológicas, incluindo a edição gênica de precisão já mencionada, devem ocupar espaço cada vez mais central na obtenção de cultivares resilientes, principalmente diante da necessidade de respostas rápidas às mudanças ambientais que já estão em curso. A engenharia de vias de sinalização hormonal tem se mostrado uma via bastante promissora para conferir tolerância múltipla às culturas (LI et al., 2022), embora essas tecnologias ainda dependam de marcos regulatórios mais claros para sua adoção comercial em larga escala.

A agricultura digital, apoiada em sensores, imagens de satélite e sistemas de monitoramento em tempo real, permite identificar precocemente sinais fisiológicos de estresse nas lavouras, possibilitando intervenções bem mais assertivas por parte do produtor. Sensores de umidade do solo e câmeras multiespectrais já vêm sendo utilizados para estimar o status hídrico das plantas em escala de campo (MONTEIRO; SANTOS; GONÇALVES, 2021), integração entre fisiologia vegetal e tecnologia digital que caracteriza um novo paradigma dentro do manejo agrícola contemporâneo.

A construção de sistemas agrícolas mais resilientes depende também da diversificação de culturas e do uso de espécies mais adaptadas a condições marginais, reduzindo a dependência excessiva de poucas cultivares altamente produtivas, porém muito sensíveis a estresses ambientais. A valorização do germoplasma tradicional, muitas vezes esquecido, pode contribuir de forma significativa para essa diversificação genética necessária (MUNNS; TESTER, 2008), estratégia que dialoga diretamente com os princípios da agroecologia e da conservação de recursos genéticos ao longo do tempo.

Os principais desafios para a construção desse novo modelo agrícola incluem limitações de infraestrutura tecnológica em regiões de pequena produção, além da falta de capacitação técnica adequada para o uso correto das novas ferramentas hoje disponíveis. A transferência de tecnologia entre centros de pesquisa e produtores rurais permanece, portanto, uma etapa crítica de todo esse processo (HASANUZZAMAN; FUJITA, 2022), e superar essas barreiras é condição praticamente essencial para que os avanços científicos discutidos se traduzam em ganhos reais de produtividade no campo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo procurou mostrar que a fisiologia vegetal aplicada ao estresse abiótico integra processos que vão desde a percepção celular do estímulo ambiental até respostas coordenadas em nível de planta inteira, passando por fotossíntese, relações hídricas, metabolismo antioxidante e regulação hormonal ao longo de todo o ciclo. Compreender essas bases é essencial para explicar por que espécies e cultivares diferentes apresentam graus tão distintos de tolerância diante de um mesmo fator adverso (FAROOQ et al., 2009).

A discussão das respostas específicas à seca, à salinidade, às temperaturas extremas e aos desequilíbrios nutricionais reforça que, apesar das particularidades de cada estresse, existem mecanismos convergentes entre eles, como o controle das espécies reativas de oxigênio e a sinalização mediada pelo ácido abscísico (ZHU, 2002). Esse denominador comum sustenta o desenvolvimento de estratégias de tolerância cruzada, capazes de responder a diferentes cenários de estresse ocorrendo ao mesmo tempo em condições reais de campo.

Por fim, as estratégias de manejo agronômico, melhoramento genético, biotecnologia e uso de bioestimulantes discutidas ao longo deste capítulo mostram a diversidade de caminhos hoje disponíveis para aumentar a resiliência das culturas, cada um deles com vantagens e limitações próprias (CALVO; NELSON; KLOEPPER, 2014). A combinação inteligente dessas abordagens, sempre orientada por um diagnóstico fisiológico bem feito, parece ser o caminho mais promissor para enfrentar os desafios que as mudanças climáticas já vêm impondo à produção agrícola em todo o mundo.

REFERÊNCIAS

ASLAM, Muhammad et al. Mechanisms of Abscisic Acid-Mediated Drought Stress Responses in Plants. International Journal of Molecular Sciences, v. 23, n. 3, 1084, 2022. DOI: 10.3390/ijms23031084. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8835272/. Acesso em: 17 jul. 2026.

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and Soil, v. 383, p. 3-41, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8. Acesso em: 22 jul. 2026.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1093/aob/mcn125. Acesso em: 22 jul. 2026.

DIDONET, A. D. Estresse abiótico. In: Procedimentos para condução de experimentos de VCU em feijoeiro comum. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, [200-]. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/697072/1/doc-239-p25.pdf. Acesso em: 22 jul. 2026.

FAO; IPCC. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Genebra: IPCC, 2022. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/. Acesso em: 22 jul. 2026.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1051/agro:2008021. Acesso em: 22 jul. 2026.

FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. Journal of Experimental Botany, v. 55, n. 396, p. 307-319, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1093/jxb/erh003. Acesso em: 22 jul. 2026.

HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M. Plant oxidative stress: biology, physiology and mitigation. Plants, v. 11, n. 9, p. 1185, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/plants11091185. Acesso em: 22 jul. 2026.

LANNA, A. C.; FILIPPI, M. C. C. de; FERREIRA, C. M.; NASCENTE, A. S. Mitigação dos estresses abióticos na agricultura mediada pela interação de microrganismos e plantas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. (Documentos, 319). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1136263/1/doc319.pdf. Acesso em: 22 jul. 2026.

LI, Y.; WU, X.; ZHANG, Y.; ZHANG, Q. CRISPR/Cas genome editing improves abiotic and biotic stress tolerance of crops. Frontiers in Genome Editing, v. 4, p. 987817, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fgeed.2022.987817. Acesso em: 22 jul. 2026.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9. Acesso em: 22 jul. 2026.

MONTEIRO, José Eduardo B. A. (org.). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p. ISBN 978-85-62817-00-7. Disponível em:

https://portal.inmet.gov.br/uploads/publicacoesDigitais/agrometeorologia_dos_cultivos.pdf. Acesso em: 17 jul. 2026.

MONTEIRO, A.; SANTOS, S.; GONÇALVES, P. Precision agriculture for crop and livestock farming: brief review. Animals, v. 11, n. 8, p. 2345, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ani11082345. Acesso em: 22 jul. 2026.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, v. 59, p. 651-681, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911. Acesso em: 22 jul. 2026.

PIMENTEL, C.; CRUZ PEREZ, A. J. de L. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, n. 1, p. 31-39, jan. 2000. Disponível em: https://www.scielo.br/j/pab/a/QdLX88GdwHqTZnKvDwcRWSq/?lang=pt. Acesso em: 17 jul. 2026.

WANG, W.; VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta, v. 218, n. 1, p. 1-14, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00425-003-1105-5. Acesso em: 22 jul. 2026.

ZAFAR, S. A.; ZAIDI, S. S. A.; GABA, Y.; SINGLA-PAREEK, S. L.; DHANKHER, O. P.; LI, X.; MANSOOR, S.; PAREEK, A. Engineering abiotic stress tolerance via CRISPR/Cas-mediated genome editing. Journal of Experimental Botany, v. 71, n. 2, p. 470-479, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1093/jxb/erz476. Acesso em: 22 jul. 2026.

ZAHUR, Muzna et al. Proteínas de zíper de leucina Homeobox e melhoria de algodão. Advances in Bioscience and Biotechnology, v. 4, n. 10B, 2013. Disponível em: https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=37147. Acesso em: 17 jul. 2026.

ZHANG, J.; CORPAS, F. J.; LI, J.; XIE, Y. Hydrogen sulfide and reactive oxygen species, antioxidant defense, abiotic stress tolerance mechanisms in plants. International Journal of Molecular Sciences, v. 23, n. 16, p. 9463, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijms23169463. Acesso em: 22 jul. 2026.

ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annual Review of Plant Biology, v. 53, p. 247-273, 2002. Disponível em: https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329. Acesso em: 22 jul. 2026.

CIÊNCIAS AGRÁRIAS:
A MULTIDISCIPLINARIDADE DOS RECURSOS NATURAIS

VOLUME XXV



conhecimentolivre.org/home
contato@conhecimentolivre.org
editoraconhecimentolivre

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE