EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NA EPIDEMIOLOGIA DA CERCOSPORIOSE DO CAFEEIRO (*Cercospora coffeicola*) NO BRASIL

Bruno Barros Goulart, Otavio Brandão Oliosi, Lucas Jordão Santana Tigre, João Pedro Martins Marconsine, Lorenzo Acre Egidio Gonçalves, Simone de Paiva Caetano Bucker Moraes, Willian Bucker Moraes.

Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário, s/n, Guararema, 29500-000 – Alegre – ES, Brasil, barrosgoulartbruno4@gmail.com, oliosib07@gmail.com, lucasjst01@gmail.com, marconsine2407@gmail.com, lorenzoegidiogoncalves@gmail.com, simonepaivabucker@gmail.com, willian.moraes@ufes.br.

Resumo

A cafeicultura é uma atividade de grande relevância econômica para o Brasil, maior produtor mundial de café. A cercosporiose, causada pelo fungo *Cercospora coffeicola*, é doença foliar de importância crescente, cuja intensidade é fortemente modulada por temperatura, disponibilidade hídrica e radiação. Diante do aumento na frequência de eventos climáticos extremos associados às mudanças climáticas, objetivou-se com esta revisão discutir como secas severas, ondas de calor e alterações no regime pluviométrico modificam a epidemiologia da cercosporiose e quais as implicações para o manejo da cafeicultura brasileira. Foi feita uma busca em bases indexadas relacionados à doença, às mudanças climáticas e a eventos extremos. Os resultados evidenciam que a temperatura influencia diretamente a produção da fitotoxina cercosporina, e que o estresse hídrico e térmico pode modular a severidade da doença, embora estudos que integrem eventos climáticos extremos e cercosporiose ainda sejam escassos. Conclui-se que estratégias adaptativas baseadas em modelos preditivos, manejo nutricional e hídrico são essenciais para a sustentabilidade da cafeicultura frente às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Climatologia. Cafeicultura. Doença foliar. Estresse hídrico.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias – Agronomia

Introdução

O café é uma das principais commodities agrícolas do Brasil, país que se consolidou como maior produtor e exportador mundial do grão. Segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento, a produção brasileira de café na safra 2026 foi estimada em 66,7 milhões de sacas de 60 kg, volume recorde composto por 45,8 milhões de sacas de *Coffea arabica* e 20,9 milhões de sacas de *Coffea canephora* (Conilon), com Minas Gerais e Espírito Santo figurando como os principais estados produtores (CONAB, 2026). Nesse cenário, doenças fúngicas que comprometem a área foliar fotossinteticamente ativa representam ameaça direta à produtividade e à qualidade do produto final, com reflexos econômicos e sociais para toda a cadeia produtiva (Ramos et al., 2022).

Dentre as doenças foliares do cafeeiro, a cercosporiose, ou mancha-de-olho-pardo (brown eye spot), causada pelo fungo *Cercospora coffeicola*, destaca-se por sua ampla distribuição e por causar desfolha, maturação irregular dos frutos, aumento do número de grãos chochos e maior aderência da casca ao pergaminho, o que dificulta o beneficiamento e reduz a qualidade da bebida (Ramos et al., 2022). Na ausência de manejo adequado, as perdas associadas à doença podem atingir 30% da produção (Ramos et al., 2022). Taxonomicamente inserido na ordem Mycosphaerellales, o patógeno coloniza o mesofilo foliar após a germinação de conídios e penetração via estômatos, processo caracterizado em detalhe por Souza et al. (2011), que demonstraram tropismo positivo dos conídios germinados em direção aos estômatos e colonização inter e intracelular do parênquima lacunoso.

A virulência de *C. coffeicola* está associada à produção de cercosporina, toxina perilenoquinona fotoativada que gera espécies reativas de oxigênio responsáveis pela peroxidação de membranas e morte de células do hospedeiro, viabilizando a colonização do tecido foliar. A produção dessa toxina é fortemente dependente de condições ambientais: Vale et al. (2019) demonstraram experimentalmente que a temperatura e o tempo de incubação influenciam diretamente a quantidade de cercosporina

produzida pelo patógeno e, consequentemente, sua virulência sobre o hospedeiro. De modo convergente, síntese da literatura indica que a intensidade da cercosporiose é favorecida por temperaturas entre 10°C e 25°C, elevada insolação e baixa disponibilidade hídrica (Chaves et al., 2018).

A epidemiologia da cercosporiose é, portanto, particularmente sensível a fatores predisponentes de natureza climática e nutricional. Estudos conduzidos sob diferentes regimes de irrigação demonstram que tanto o déficit hídrico quanto o excesso de água podem influenciar a incidência da doença, a depender da interação com o estado nutricional da planta, sobretudo em relação ao fósforo (Chaves et al., 2018) e ao manejo da fertirrigação (Barbosa Junior et al., 2019). Esses achados evidenciam que a cercosporiose não deve ser compreendida isoladamente, mas como resultado da interação dinâmica entre patógeno, hospedeiro fisiologicamente estressado e ambiente, o clássico triângulo da doença, cujos vértices são todos sensíveis a alterações climáticas.

Nas últimas décadas, o aumento da concentração de gases de efeito estufa tem sido associado à intensificação da frequência e da magnitude de eventos climáticos extremos, incluindo secas prolongadas, ondas de calor, precipitações concentradas e alterações na sazonalidade das chuvas. Revisão recente publicada na Nature Reviews Microbiology sintetiza evidências de que tais extremos climáticos podem aumentar a virulência e a distribuição de diversos patógenos vegetais, suprimir respostas imunológicas da planta hospedeira e alterar o funcionamento do microbioma associado, favorecendo surtos de doenças de maneiras que diferem qualitativamente dos efeitos de mudanças climáticas graduais de longo prazo (Xiong et al., 2026). De modo complementar, modelagem envolvendo 80 patógenos fúngicos e oomicetos indica que o risco de infecção dependente da temperatura acompanhará as projeções de produtividade de diversas culturas ao longo do século XXI (Chaloner et al., 2021).

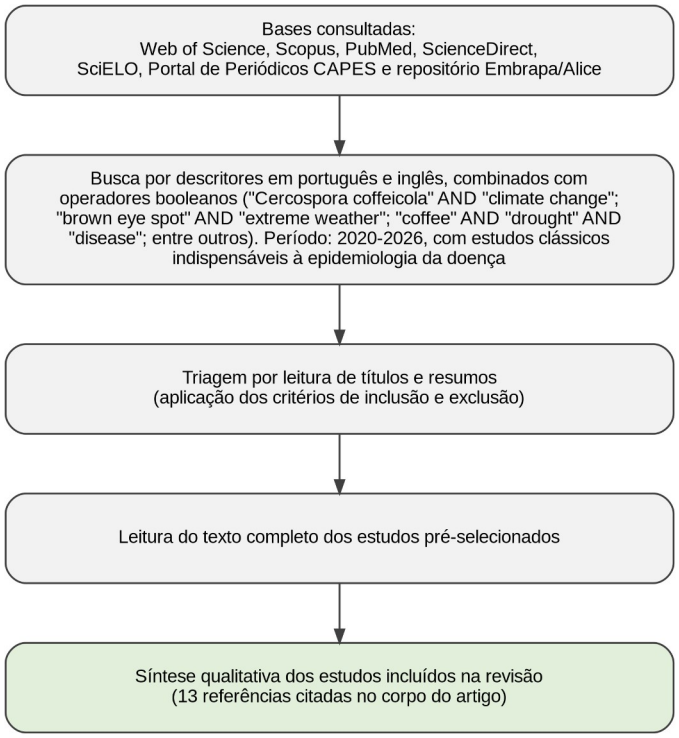
No Brasil, esses efeitos já se manifestam de forma concreta: estudo conduzido no norte, noroeste e nordeste do Espírito Santo, principal região produtora de Conilon, demonstrou que a estiagem associada a temperaturas médias anuais superiores a 26°C durante a safra 2015/2016 esteve associada à redução na produtividade das lavouras, evidenciada por índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto (Venancio et al., 2020). Tais evidências reforçam a vulnerabilidade da cafeicultura brasileira a extremos climáticos, mas ainda existe lacuna relevante na literatura quanto à investigação direta e sistemática de como esses eventos extremos (e não apenas a variação climática gradual) modificam especificamente a dinâmica epidemiológica da cercosporiose. Diante do exposto, o objetivo desta revisão foi sintetizar e discutir criticamente as evidências científicas disponíveis sobre os mecanismos pelos quais eventos climáticos extremos associados às mudanças climáticas alteram a epidemiologia da cercosporiose do cafeeiro, bem como suas implicações para o manejo integrado da cafeicultura brasileira.

Metodologia

A busca foi realizada nas bases Web of Science, Scopus, PubMed, ScienceDirect, SciELO, Portal de Periódicos da CAPES e no repositório institucional Alice, da Embrapa, incluindo "*Cercospora coffeicola*" e "climate change"; "brown eye spot" e "extreme weather"; "cercosporiose" e "seca"; "coffee" e "drought" e "disease"; "cercosporin" e "temperature". Priorizaram-se estudos publicados entre 2020 e 2026, admitindo-se estudos clássicos anteriores quando indispensáveis à fundamentação da epidemiologia da doença, como os relativos à caracterização do processo infeccioso e aos efeitos da temperatura sobre a produção de cercosporina.

Foram incluídos artigos originais e de revisão, com revisão por pares, redigidos em português e inglês, que abordassem a relação entre *C. coffeicola* e fatores climáticos, epidemiologia da cercosporiose, fisiologia do cafeeiro sob estresse abiótico, ou impactos de eventos climáticos extremos sobre a cafeicultura brasileira. A seleção seguiu duas etapas (triagem por título/resumo e leitura do texto completo dos estudos pré-selecionados), ilustradas na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do processo de busca e seleção das referências bibliográficas utilizadas nesta revisão.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Resultados

Os estudos analisados convergem para a conclusão de que a intensidade da cercosporiose é diretamente modulada por variáveis climáticas, com destaque para temperatura e disponibilidade hídrica. Vale et al. (2019) demonstraram, em condições controladas, que a produção de cercosporina (toxina responsável pela virulência de *C. coffeicola*) varia significativamente entre isolados em função da temperatura e do tempo de incubação, fornecendo evidência mecanística direta de que alterações térmicas modificam a capacidade do patógeno de causar dano ao hospedeiro. De modo consistente, Chaves et al. (2018) identificaram que a incidência da cercosporiose é favorecida por temperaturas entre 10°C e 25°C associadas a baixa disponibilidade hídrica e elevada insolação, condições que se intensificam durante episódios de seca.

Estudos sobre manejo hídrico corroboram essa relação: Barbosa Junior et al. (2019) verificaram que diferentes lâminas de irrigação por gotejamento, combinadas a manejo de adubação, alteram significativamente a incidência da cercosporiose em lavouras cafeeiras, evidenciando que tanto o déficit quanto o excesso hídrico podem favorecer a doença a depender do estado nutricional da planta. Esses resultados indicam que o estresse hídrico, característico de eventos de seca extrema, não apenas debilita fisiologicamente o cafeeiro, mas interage diretamente com a dinâmica do patógeno.

No que se refere aos efeitos observados de eventos climáticos extremos sobre a cafeicultura brasileira, Venancio et al. (2020) documentaram, por meio de dados de precipitação, temperatura, produtividade e sensoriamento remoto entre 2010 e 2016, que a safra 2015/2016 do Conilon no Espírito Santo foi a mais afetada por seca associada a temperaturas médias anuais superiores a 26°C, evidenciando redução mensurável na condição vegetativa das lavouras. Embora esse estudo não tenha avaliado diretamente a incidência de cercosporiose, ele fornece evidência robusta de que extremos de seca e calor já impactam mensuravelmente a fisiologia e a produtividade do cafeeiro brasileiro.

Na escala mais ampla dos patossistemas vegetais, Chaloner et al. (2021) projetaram, a partir de modelagem de 80 patógenos fúngicos e oomicetos, que o risco de infecção dependente da temperatura acompanhará as mudanças de produtividade agrícola projetadas para o século XXI, com tendência de aumento tanto do risco quanto da produtividade em latitudes mais altas. De forma complementar e mais recente, Xiong et al. (2026) sintetizam evidências de que extremos climáticos (e não apenas o

aquecimento gradual médio) podem aumentar a virulência e a distribuição de patógenos vegetais, suprimir respostas imunológicas do hospedeiro e alterar a funcionalidade do microbioma vegetal associado, propondo que as respostas de patógenos, hospedeiros e microbiomas a extremos climáticos diferem qualitativamente das respostas a tendências climáticas de longo prazo.

No âmbito do manejo, ferramentas preditivas baseadas em variáveis agrometeorológicas têm sido desenvolvidas especificamente para a cercosporiose: Oliveira Aparecido et al. (2024) aplicaram modelos de aprendizado de máquina alimentados por dados agrometeorológicos para prever a incidência da mancha-de-olho-pardo em lavouras cafeeiras com até sete dias de antecedência, demonstrando viabilidade técnica de sistemas de alerta precoce baseados em variáveis climáticas. Paralelamente, Ramos et al. (2022) avaliaram a resistência genética de genótipos de café à cercosporiose, identificando o acesso MG 1207 Sumatra como fonte de resistência intrínseca, com potencial para reduzir a dependência de controle químico.

Discussão

A união dos estudos analisados sustenta a hipótese central desta revisão: eventos climáticos extremos, sobretudo secas associadas a temperaturas elevadas, tendem a intensificar a epidemiologia da cercosporiose por meio de pelo menos dois mecanismos combinados. O primeiro é direto sobre o patógeno, via estímulo à produção de cercosporina em condições térmicas específicas (Vale et al., 2019), aumentando sua capacidade de causar dano tecidual. O segundo é indireto, mediado pelo hospedeiro: o estresse hídrico e térmico compromete a fisiologia do cafeeiro (reduzindo a fotossíntese líquida e a condutância estomática e promovendo desequilíbrios nutricionais), tornando a planta mais suscetível à colonização fúngica, conforme descrito na revisão clássica de DaMatta e Ramalho (2006) sobre os impactos da seca e do estresse térmico na fisiologia e produção do cafeeiro.

Há, contudo, divergência importante quanto à direção do efeito hídrico: enquanto Chaves et al. (2018) associam a cercosporiose a condições de baixa disponibilidade hídrica, Barbosa Junior et al. (2019) demonstram que também o excesso de irrigação, dependendo do manejo nutricional associado, pode favorecer a doença. Essa aparente contradição sugere que não é a escassez ou o excesso de água per se que determina a severidade da cercosporiose, mas sim o desequilíbrio abrupto no status hídrico e nutricional da planta, padrão consistente com o que se espera de eventos climáticos extremos, caracterizados justamente pela alternância brusca entre períodos de seca severa e precipitação concentrada, e não por condições estáveis em qualquer extremo.

Uma limitação transversal identificada nesta revisão é a escassez de estudos que investiguem diretamente a relação entre eventos climáticos extremos (enquanto fenômenos discretos e agudos) e a epidemiologia da cercosporiose. A maior parte da evidência disponível deriva de estudos que manipulam experimentalmente temperatura, irrigação ou nutrição de forma controlada e gradual (Chaves et al., 2018; Barbosa Junior et al., 2019; Vale et al., 2019), ou de estudos observacionais sobre impactos climáticos na produtividade do cafeeiro sem quantificação da incidência de doenças (Venancio et al., 2020). A revisão de Xiong et al. (2026) é enfática ao apontar que o conhecimento mecanístico sobre como extremos climáticos especificamente (e não apenas tendências médias) afetam patógenos, hospedeiros e microbiomas permanece uma lacuna importante na fitopatologia, e a cercosporiose do cafeeiro não constitui exceção a essa limitação geral.

Do ponto de vista do manejo integrado, os resultados sintetizados indicam convergência de estratégias promissoras frente a esse cenário de maior instabilidade climática. Modelos preditivos baseados em variáveis agrometeorológicas e aprendizado de máquina (Oliveira Aparecido et al., 2024) representam ferramenta relevante para antecipar picos de incidência da cercosporiose associados a janelas climáticas favoráveis, permitindo intervenções fitossanitárias mais precisas e menos dependentes de calendários fixos de pulverização. De modo complementar, o manejo hídrico e nutricional de precisão, ajustando irrigação e adubação fosfatada para evitar tanto déficit quanto excesso (Chaves et al., 2018; Barbosa Junior et al., 2019), surge como estratégia adaptativa de baixo custo relativo, especialmente relevante para produtores que não têm acesso a sistemas de modelagem preditiva sofisticados.

A resistência genética constitui outra frente de adaptação com potencial de médio a longo prazo: a identificação de genótipos com menor severidade à cercosporiose, como o acesso MG 1207 Sumatra (Ramos et al., 2022), abre caminho para programas de melhoramento genético voltados à redução da dependência de fungicidas, o que é particularmente relevante considerando que a ausência de cultivares comerciais resistentes à doença permanece uma lacuna estrutural do setor. Entretanto, a

integração entre resistência genética e tolerância a estresses abióticos extremos (combinando resistência à cercosporiose com maior resiliência a seca e calor) ainda não foi sistematicamente investigada na literatura consultada, representando direção prioritária para pesquisas futuras.

Por fim, cabe destacar que a magnitude dos impactos projetados por modelos de risco de infecção em escala global (Chaloner et al., 2021) sugere que os efeitos climáticos sobre patógenos como *C. coffeicola* não devem ser interpretados isoladamente por região, mas como parte de uma reconfiguração mais ampla da distribuição geográfica de doenças de plantas sob mudança climática. Nesse contexto, a expansão da cafeicultura brasileira para novas áreas (como observado historicamente para outras doenças do cafeeiro) pode expor a cultura a combinações inéditas de clima e pressão de doença, reforçando a necessidade de monitoramento epidemiológico contínuo e de zoneamento agrícola dinamicamente atualizado.

Conclusão

A síntese da literatura científica disponível indica que eventos climáticos extremos, sobretudo secas associadas a temperaturas elevadas e desequilíbrios hídricos abruptos, alteram a epidemiologia da cercosporiose do cafeeiro por mecanismos combinados que podem atuar sobre o patógeno — hipoteticamente, a seca favorecendo a produção da toxina cercosporina por meio do estresse do hospedeiro e da maior insolação, enquanto temperaturas acima da faixa ótima do patógeno (10 °C a 25 °C) tendem a ser potencialmente supressivas —, e sobre o hospedeiro, comprometendo sua fisiologia e aumentando sua suscetibilidade à colonização fúngica; contudo, ainda são escassos os estudos que investiguem diretamente essa relação entre eventos climáticos extremos, enquanto fenômenos agudos e discretos, e a incidência ou severidade da cercosporiose, assim como faltam cultivares comerciais resistentes à doença e pesquisas que integrem resistência genética à cercosporiose com tolerância a estresses abióticos extremos. Como implicações para o manejo integrado da cafeicultura brasileira, destacam-se a adoção de modelos preditivos baseados em variáveis agrometeorológicas para antecipar picos epidêmicos, o ajuste fino do manejo hídrico e nutricional para evitar desequilíbrios abruptos e o investimento em programas de melhoramento genético voltados à resistência combinada a estresses bióticos e abióticos, estratégias essenciais para assegurar a sustentabilidade da cafeicultura brasileira em um cenário de instabilidade climática crescente.

Referências

BARBOSA JUNIOR, M.P.; POZZA, E.A.; SANTOS NETO, H.; SILVA, M.L.O.; POZZA, A.A.A.; GUIMARÃES, R.J. et al. Brown eye spot in coffee subjected to different drip irrigation and fertilization management. Australasian Plant Pathology, v.48, p.245-252, 2019.

CHALONER, T.M.; GURR, S.J.; BEBBER, D.P. Plant pathogen infection risk tracks global crop yields under climate change. Nature Climate Change, v.11, p.710-715, 2021. DOI: 10.1038/s41558-021-01104-8.

CHAVES, E.; POZZA, E.A.; SANTOS NETO, H.; VASCO, G.B.; DORNELAS, G.A.; POZZA, A.A.A.; SCALCO, M.S. Temporal analysis of brown eye spot of coffee and its response to the interaction of irrigation with phosphorous levels. Journal of Phytopathology, v.166, p.613-622, 2018. DOI: 10.1111/jph.12723.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Produção de café é estimada em 66,7 milhões de sacas na safra 2026, alta de 18%. Brasília: Conab, 2026. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-cafe-e-estimada-em-66-7-milhoes-de-sacas-na-safra-2026. Acesso em: 12 jul. 2026.

DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.D.C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. Brazilian Journal of Plant Physiology, v.18, p.55-81, 2006.

OLIVEIRA APARECIDO, L.E.; LIMA, R.F.; TORSONI, G.B.; LORENÇONE, J.A.; LORENÇONE, P.A.; SOUZA ROLIM, G. Climate and disease: tackling coffee brown-eye spot with advanced forecasting models. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.104, n.9, p.5442-5461, 2024. DOI: 10.1002/jsfa.13379.

RAMOS, J.B.; RESENDE, M.L.V.; BOTELHO, D.M.S.; PEREIRA, R.C.M.; REICHEL, T.; BALIEIRO, A.A.F.; BOTEGA, G.P.; ABRAHÃO, J.C.R. Screening coffee genotypes for brown eye spot resistance in Brazil. PLOS ONE, v.17, n.1, e0258822, 2022. DOI: 10.1371/journal.pone.0258822.

SOUZA, A.G.C.; RODRIGUES, F.Á.; MAFFIA, L.A.; MIZUBUTI, E.S.G. Infection process of *Cercospora coffeicola* on coffee leaf. Journal of Phytopathology, v.159, p.6-11, 2011. DOI: 10.1111/j.1439-0434.2010.01710.x.

VALE, P.A.S.; RESENDE, M.L.V.; BOTELHO, D.M.S.; POZZA, E.A.; OGOSHI, C.; MONTEIRO, A.C.A.; COSTA, B.H.G.; VASCONCELOS, V.A.M. Temperature, incubation time and virulence of *Cercospora coffeicola* in the production of cercosporin. Journal of Phytopathology, v.167, p.371-379, 2019. DOI: 10.1111/jph.12802.

VENANCIO, L.P. et al. Impact of drought associated with high temperatures on *Coffea canephora* plantations: a case study in Espírito Santo State, Brazil. Scientific Reports, v.10, art.19719, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-76713-y.

XIONG, C.; GE, A.-H.; GAO, M.; SINGH, B.K. Impacts of climate extremes on plant pathogens, microbiomes and plant health. Nature Reviews Microbiology, 2026. DOI: 10.1038/s41579-026-01290-2.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Epidemiologia e Manejo de Doenças de Plantas Agrícolas e Florestais (LEMP) e ao Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo Fitossanitário de Pragas e Doenças (NUDEMAFI), da Universidade Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre, pela infraestrutura para realização deste estudo, e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.