



ORGANIZADOR

FÁBIO LUIZ PARTELLI

REALIZAÇÃO



SÃO MATEUS - ES - 2025

**CAFÉ CONILON:**  
**Adaptação às Mudanças Climáticas**

Organizador  
**Fábio Luiz Partelli**

**São Mateus - ES**  
**2025**

Todos os direitos estão reservados.  
Proibida a reprodução total ou parcial.  
Sanções Previstas na Lei nº 9610 de 19.02.1998.

**Tiragem:** 1.000 exemplares IMPRESSOS

Online: [www.cafeconilon.com](http://www.cafeconilon.com)

**Capa:** Fábio Luiz Partelli e Fábio Lemos Carolino

---

Partelli, Fábio Luiz.

**CAFÉ CONILON: Adaptação às Mudanças Climáticas** / Fábio Luiz

Partelli, Organizador - São Mateus, ES: 2025.

158 p.: il. ; 14 x 21 cm.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-01-74134-5

1. *Coffea canephora*. 2. Café Conilon. 3. Simpósio do Produtor de Conilon.  
4. Pesquisas. 5. Mudanças climáticas. 6. Estresse.

CDU: 630



**Dedicamos este livro aos cafeicultores principais responsáveis pelo sucesso da CAFEICULTURA!!!!**

**Agricultores Homenageados pelo evento:**

***2016 – 5º Simpósio do Produtor de Conilon:***

Amistrong Luciano Zanotti - Nova Venécia - ES

Irmãs Brioschi (Almira e Inês) – Jaguaré - ES

João Colombi - São Gabriel da Palha - ES (*In Memoriam*)

***2017: 6º Simpósio do Produtor de Conilon:***

Jarbas Alexandre Nicoli Filho –Jaguaré - ES

José Verly – Muqui - ES

Wanderlino Medeiros Bastos – São Gabriel da Palha - ES

***2018: 7º Simpósio do Produtor de Conilon:***

Irmãos Cobre (Carlos, Isaac e Moyses) – Pinheiros - ES

Irmãos Partelli (Luiz e Ozílio) –Vila Valério - ES

José Bonomo – São Mateus - ES

***2019: 8º Simpósio do Produtor de Conilon:***

Eliseu Bonomo – São Mateus - ES

Marizete Marim Menegardo –Jaguaré - ES

Rogério Colombi de Freitas – São Gabriel da Palha - ES

***2020: 9º Simpósio do Produtor de Conilon:***

Silvestre Baiôco Filho (Pepe) – Aracruz - ES

Irmãos Venturim (Isaac e Lucas) – São Gabriel da Palha – ES

***2021: 10º Simpósio do Produtor de Conilon:***

Elias de Paula – Nova Venécia - ES

Gustavo Martins Sturm – Teixeira de Freitas - BA

Luis Carlos da Silva Gomes – Santa Teresa - ES

***2022: 11º Simpósio do Produtor de Conilon:***

André Monzoli Covre – Itabela – BA  
Elair Caldeira Barbosa – Vila Valério - ES  
Juan Travain – Cacoal – RO

***2023: 12º Simpósio do Produtor de Conilon:***

Geralda Soares Colombi – São Gabriel da Palha – ES  
Edgar Bastianello – Nova Venécia – ES  
Gerson Cosme – Jaguaré – ES

***2024: 13º Simpósio do Produtor de Conilon:***

Adauto Orletti e filhos – Pinheiros – ES  
Irmãos Reniki Junior e Ronaldo Ronquette – Rio Bananal – ES  
Geraldo da Silva (Casiano) e Família – São Mateus – ES

***2025: 14º Simpósio do Produtor de Conilon:***

Sebastião Ton – Aimorés – MG  
Casal: Rosangela Dal Bo e José Pereira – Rio Bananal – ES  
Luiz Marcos Stocco – Vila Valério – ES

## AGRADECIMENTOS

Os organizadores, agradecem à **Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes)**, ao Centro Universitário Norte do Espírito Santo (Ceunes), pelo apoio na realização de todas as edições do “Simpósio de Produtor de Conilon”. Agradecimentos à **Empresa Junior de Agronomia - Projagro** e demais acadêmicos do curso de Agronomia pelo apoio na organização.

Ao apoio fundamental realizado pelo Crea-ES, Mutua-ES, Rovensa Next, Colombo, P&A, Prefeitura de São Mateus, OCB-ES, Amazon AgroSciences, Yara, Defesa Agrícola, Basf, FMC, Fapes, Nicoli Agronegócios, Coaabriel, Viveiro Marinato, Incaper, Conesão Safra, Rede Nova Onda, Ifes, Iniav e Faesa.

Agradecimentos também aos palestrantes do 14º Simpósio do Produtor de Conilon e aos autores dos capítulos do livro.

Comissão Organizadora

## PREFÁCIO

O Estado do Espírito Santo possui apenas um Universidade Federal. A Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes) contribui de forma significativa com a sociedade Capixaba, Brasileira e Mundial, com ensino, pesquisa e extensão por mais de 70 anos. Atua fortemente com a cultura do Café Conilon/Robusta, com ações no ensino, extensão, formação de recursos humanos e na produção de pesquisa, sendo a instituição que mais publica artigos científicos sobre café Conilon/Robusta do mundo.

O Centro Universitário Norte do Espírito Santo (Ceunes), com quase 20 anos contribui de forma grandiosa por meio de ensino superior, com 17 cursos de graduação, dentre eles o de Agronomia, cinco cursos de mestrado, dois de doutorado, pesquisas e extensão. Portanto, temos uma Universidade **pública e de qualidade a serviço da sociedade**.

Foram 13 livros relacionados aos 14 eventos (Simpósio do Produtor de Conilon), sendo **IMPRESSOS e DISPONIBILIZADOS 13 MIL LIVROS, principalmente aos CAFEICULTORES**, aos brasileiros e a diversos países do mundo. Este ano serão **MAIS MIL LIVROS IMPRESSOS**, atingindo a marca de **14 MIL LIVROS IMPRESSOS**. Essa edição conta com a participação de 58 autores e com 158 páginas.

Os livros também estão disponíveis em formato digital, podendo ser encontrado em **WWW.CAFECONILON.COM**.

### **ORGANIZADOR/AUTOR**

**Fábio Luiz Partelli:** Agricultor até os 18 anos. Engenheiro Agrônomo pela Ufes (2002). Mestrado e Doutorado em Produção Vegetal pela Uenf (2004/2008), parte realizado em Portugal. Professor Titular e orientador de iniciação científica, mestrado e doutorado na Ufes. Bolsista Produtividade Científica do CNPq, nível 1B (A).

### **AUTORES**

**Adésio Ferreira:** Engenheiro Agrônomo (Ufes, 2002). Mestre em Genética e Melhoramento (UFV, 2003). Doutor em Genética e Melhoramento (UFV, 2006). Professor da Ufes e bolsista de produtividade do CNPq.

**Adriene Caldeira Batista:** Engenheira Agrônoma (2023) e Mestre em Produção Vegetal (2025) pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Atua como pesquisadora em modelagem de nicho ecológico e mudanças climáticas. Faz parte do Grupo AgriMe.

**Aldemar Polonini Moreli:** É professor efetivo do IFES, atuando na função de docente e coordenador de projetos de pesquisa e de extensão focados na cafeicultura, onde também coordena o Programa Qualidade Total para a Cafeicultura. Sua produção científica atual: 33 artigos científicos, 5 capítulos de livro e 2 registros de patentes.

**Alex Campanharo:** Eng. Agrônomo (Ufes, 2016). Mestre em Agricultura Tropical (Ufes, 2019). Doutor em Genética e Melhoramento (Ufes, 2025). Consultor e Técnico da Fazenda Experimental da Ufes, São Mateus-ES.

**Alex Silva Lima:** Graduado em Agronomia (UFES/2019). Mestre em Agricultura Tropical (UFES/2022). Doutorando em Genética e Melhoramento de Plantas pela Ufes.

**Anne Reis Santos:** Mestre em Produção Vegetal, atua como pesquisadora em ecofisiologia vegetal, com ênfase na fisiologia do cafeeiro e nos efeitos da radiação ultravioleta (UV). Doutoranda em Biotecnologia Vegetal na UENF, possui experiência em estudos sobre os efeitos de estresses abióticos em processos fisiológicos.

**Angela Maria dos Santos Pessoa:** Engenheira agrônoma; Mestre. Doutora em Agronomia. Professora, orientadora na iniciação científica pela UNIR, lotada no Campus de Rolim de Moura/RO.

**Antonio Fernando de Souza:** Eng. Agrônomo pela UFV (2003) e Doutor em Fitopatologia pela UFV (2008). Atua como Professor EBTT, classe Titular, no IFES Campus Santa Teresa, onde desenvolve pesquisas na área de manejo



integrado de doenças e coordena o programa de extensão Clínica Fitopatológica do Laboratório de Diagnóstico de Doenças de Plantas.

**Cleidson Alves da Silva:** Engenheiro Agrônomo (Unir, 2016). Mestre em Agricultura Tropical (Ufes, 2020). Doutor em Agronomia (Fitotecnia) (Ufla, 2024). Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig).

**Deurimar Herênio Gonçalves Júnior:** Engenheiro Agrônomo (Uema, 2017). Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas (Uenf, 2019). Doutor em Genética e Melhoramento (UFV, 2025). Especialista em Inteligência Artificial e Big Data (USP, 2025). Pós-Doutor na Universidade Federal do Espírito Santo.

**Edmond Joseph Djibril Victor Barry:** Engenheiro Agrônomo (2025), natural do Senegal, e mestrando em Produção Vegetal pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). Membro do Grupo Agricultura e Modelagem Ecológica (AgriMe).

**Ellen Vieira da Silva:** Técnica em Edificações pelo IFES. Graduanda em Agronomia pelo IFES Campus Santa Teresa e Bolsista de Iniciação Científica do Laboratório de Diagnóstico de Doenças de Plantas.

**Eliemar Campostrini:** Docente de Fisiologia/Ecofisiologia de Culturas Tropicais e Subtropicais e pesquisador doutor na UENF. Possui mais de 174 publicações científicas. Atua investigando os efeitos de fatores ambientais (água, temperatura, luz) sobre processos fisiológicos como trocas gasosas, fluxo de seiva, pigmentos e fluorescência.

**Fabiano Guimarães Silva:** Licenciado em Ciências Agrárias. Mestre. Doutor em Agronomia. Professor, orientador no mestrado e doutorado pelo IFGoiano, lotado no Campus de Rio Verde/GO.

**Fernanda dos Santos Farnese:** Bióloga. Mestre. Doutora em Fisiologia Vegetal. Professora, orientadora no mestrado e doutorado pelo IFGoiano, lotado no Campus de Rio Verde/GO.

**Guilherme Augusto Rodrigues de Souza:** Doutor em Produção Vegetal pela UENF, com foco em ecofisiologia vegetal. Atualmente, é pesquisador de pós-doutorado na Università Cattolica del Sacro Cuore (Itália), com bolsa CNPq. Sua pesquisa envolve respostas ecofisiológicas de *Coffea canephora* à seca e efeitos de altas temperaturas em mamoeiro.

**Idalina Sturião Milheiros:** Bacharel Administração (2022), MBA em Agronegócio (2026). Técnica em Desenvolvimento Rural - Agropecuária pelo Incaper. É co-autora de 7 artigos científicos e 1 capítulo de livro.

- Idelfonso Leandro Bezerra:** Engenheiro agrônomo. Mestre. Doutor em Engenharia agrícola. Professor, orientador na iniciação científica e no mestrado pela UNIR, lotado no Campus de Rolim de Moura/RO.
- Jane Meri Santos:** Professora aposentada da UFES e Bolsista de Produtividade em Pesquisa nível 1C do CNPq. Graduada em Eng. Mecânica pela UFES e doutora em Engenharia Ambiental pela University of Manchester. Publicou mais de 90 artigos científicos em periódicos nacionais e internacionais.
- Jairo Rafael Machado Dias:** Engenheiro agrônomo. Mestre. Doutor em Produção Vegetal. Professor, orientador na iniciação científica, tecnológica e no mestrado pela UNIR - Campus de Rolim de Moura/RO.
- João Felipe de Brites Senra:** Eng. Agrônomo (2010), Mestre em produção vegetal (2012), D.Sc. Genética e Melhoramento de Plantas (2016). Agente de Extensão em Desenvolvimento Rural pelo Incaper. Professor colaborador do PPGGM da UFES. É autor de 28 artigos científicos e 3 livros. Editor adjunto do periódico Incaper em Revista.
- José Maria Rodrigues da Luz:** É Bioquímico (2007) e realiza Pós-doutorado na UFV. Ele participa do desenvolvimento de estudos sobre fermentação microbiana, qualidade química, nutricional e sensorial de café. Sua produção científica atual: 76 artigos científicos, 9 capítulos de livros, 8 registros de patentes e 5 cartas patentes.
- José Cochicho Ramalho:** Biólogo, doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas pela Universidade de Lisboa (1998). É investigador do ISA da Universidade de Lisboa. Desenvolve estudos multidisciplinares relativos aos mecanismos de resposta e resiliência das plantas num contexto de alterações climáticas, com foco principal no género tropical *Coffea* sp.
- Julia Sperandio Schulz:** Técnica em Administração pelo IFES Campus Centro Serrano. Graduanda em Agronomia pelo IFES Campus Santa Teresa e Bolsista de Iniciação Científica do Laboratório de Diagnóstico de Doenças de Plantas.
- Júlio Antônio Saraiva Aguiar:** Engenheiro Agrônomo UFV 1993. Produtor Rural Co-fundador do Khas Café
- Karen Mirella Souza Menezes:** É Zootecnica (2012) e faz Pós-doutorado na UFV com atuação na área de café com fungos micorrízicos arbusculares, bactéria fixadora de nitrogênio e isolamento de micro-organismos do fruto do café. Publicou 8 artigos científicos, 1 capítulo e 28 resumos.
- Laricia Olária Emerick Silva:** Graduada em Ciências Biológicas (IFES/2018). Mestre e Doutora em Genética e Melhoramento pela UFES.
- Leandro Mendel da Cruz:** Graduado em Agronomia pela UFES (2008), mestre em Agronomia pela UFES (2023), discente de doutorado em Genética e

Melhoramento (UFES), atuando como Agente de Extensão em Desenvolvimento Rural no Incaper.

**Lucas Broedel Cabral:** Produtor de café desde 2020. Eng. Agrônomo (2022) e especialista em fisiologia vegetal, nutrição e desenvolvimento de plantas (2025). Avaliador e classificador de café conilon (2023). Bicampeão municipal no concurso de qualidade de café do município de Sooretama (2023 e 2024).

**Lucas Louzada Pereira.** É Diretor de Operações da Mió Brasil e professor licenciado do IFES. Ele desenvolve pesquisas em química, bioquímica, processos de fermentação, microbiologia e qualidade sensorial do café. Sua produção científica atual: 88 artigos científicos, 10 livros, 12 capítulos e 5 registros de patentes.

**Marcela Campanharo:** Engenheira Agrônoma (Ufes, 2002). Mestre em Ciência do Solo (UFRPE, 2006). Doutora em Produção Vegetal (Uenf, 2010). Professora na Ufes, Campus São Mateus.

**Marcelo Barreto da Silva:** É professor titular da Ufes. Doutor em Fitopatologia pela UFV. Pós-doutor pela Kansas University e pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Coordena o programa Agro+: por uma agricultura mais sustentável. Desenvolve projetos de inovação em produtos fitossanitários e fitoterápicos.

**Marcia Flores da Silva Ferreira:** Graduada em Ciências Biológicas. Mestra em Genética e Melhoramento. Doutora em Genética e Melhoramento (UFV/2006). Pós-doutorado em Biologia Molecular de Plantas (UFV/2016). Professora na Ufes.

**Marcos Valério Vieira Lyrio:** Graduado em Engenharia Química. Mestre em Química. Doutorando em Química (UFES). Pesquisador na Fundação Espírito-Santense de Tecnologia.

**Maria Fernanda Peixoto Gama:** Licenciada em Ciências da Natureza – Ciências e Biologia (IFF/2023). Mestranda em Genética e Melhoramento (UFES/2024).

**Marinaldo Loures Ferreira:** Engenheiro Civil e Gestor do Agronegócio. Doutor e Mestre em Produção Vegetal pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Professor do curso de Agronomia da FACTU. Atua como pesquisador em geotecnologias aplicadas à agricultura, modelagem de nicho ecológico e sustentabilidade hídrica.

**Marliane de Cássia Soares da Silva:** É professora associada da UFV com atuação em Microbiologia, com os seguintes temas: cogumelos, fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de nitrogênio. Sua produção científica atual:

74 artigos científicos, 18 capítulos de livros, 2 registros de patentes e 2 orientações de mestrado.

**Maysa Bromerschenkel da Silva:** Técnica em Administração pelo IFES Campus Centro Serrano. Graduanda em Agronomia pelo IFES Campus Santa Teresa.

**Maskio Darós:** Eng. Agrônomo (Ufes, 1997). Mestre e doutor em Produção Vegetal (Uenf, 1999/2003). Extensionista Agropecuário na Emater-MG.

**Neyval Costa Reis Junior:** Professor Titular da Ufes e Bolsista de Produtividade em Pesquisa nível 1C do CNPq. Graduado em Eng. Mecânica pela Ufes e doutor em Engenharia Ambiental pela University of Manchester. Publicou mais de 80 artigos científicos em periódicos. Coordenou a elaboração do Plano Estadual de Descarbonização do ES.

**Niquisse José Alberto:** Engenheiro Agrônomo (Universidade Católica de Moçambique, 2016). Mestre em Genética e Melhoramento (Ufes, 2022). Doutorando em Genética e Melhoramento na Ufes.

**Paulo Eduardo Menezes-Silva:** Biólogo. Mestre. Doutor em Fisiologia Vegetal. Professor, orientador no mestrado e doutorado pelo IFGoiano, lotado no Campus de Rio Verde/GO. Coordenou o estudo que revelou alta vulnerabilidade hidráulica nos cafeeiros robustas amazônicos.

**Pedro Henrique Bonfim Pantoja:** Graduado em Meteorologia pela UFPA e mestre em Engenharia Ambiental pela UFES. Pesquisador do INCAPER, atua nas áreas de climatologia, projeções climáticas e análise de dados.

**Renan Batista Queiroz:** Eng. Agrônomo e Doutor em Entomologia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Pesquisador do Incaper. Professor e coordenador do curso de Agronomia da FAESA. Atualmente, atua com Desenvolvimento de Mercado da FIRST AGBIOTECH. Desde 2014 desenvolve pesquisas com Manejo Integrado de Pragas.

**Ricardo Siqueira da Silva:** Engenheiro Agrônomo (2010), mestre (2012) e doutor (2016). Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, docente dos Programas de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Ciência Florestal, e coordenador do Grupo Agricultura e Modelagem Ecológica (AgriMe).

**Roberta Reis Rosa Aguilar:** É publicitária (Faesa 2004), pós-graduada em marketing (FGV 2007) e desenvolvimento de embalagens. Produtora de cafês especiais, barista e cofundadora do Khas Café. Atua em branding territorial, design e turismo, criando experiências e estratégias que conectam agricultura, cultura, economia criativa e consumo consciente.

**Robson Bonomo:** Graduado em Agronomia (UFV/1992). Mestre em Engenharia Agrícola (UFV/1994). Doutor em Engenharia Agrícola (UFV/1999). Professor na Universidade Federal do Espírito Santo.

**Rosana Gomes de Oliveira:** Licenciada em Ciências Biológicas. Pós-graduada em Biotecnologia. Mestra em Genética e Melhoramento (UFES/2024). Doutoranda em Genética e Melhoramento (UFES/2024).

**Sebastião Ton:** Cafeicultor em Aimorés-MG.

**Tafarel Victor Colodetti:** Eng. Agrônomo (2014), Mestre e Doutor (2016/2019) em Produção Vegetal. Agente de Pesquisa e Inovação em Desenvolvimento Rural do Incaper. Membro do Núcleo de Pesquisas Cafeeiras do CCAE da Ufes. É autor de mais de 70 artigos em periódicos, 3 livros, 7 capítulos e mais de 120 trabalhos publicados em eventos.

**Thalita Sousa Silva:** Licenciada em Ciências Biológicas (2024) Mestranda em Genética e Melhoramento de Plantas (2024 - atual).

**Vanessa Gonçalves do Nascimento:** Eng. Agrônoma (2025) e mestranda em Produção Vegetal pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Integra o Grupo Agricultura e Modelagem Ecológica (AgriMe).

**Vando Miossi Rondelli:** Engenheiro agrônomo. Mestre. Doutor. Pós-doutor em Entomologia Agrícola. Professor, orientador na iniciação científica e no mestrado pela UNIR, lotado no Campus de Rolim de Moura/RO.

**Wagner Nunes Rodrigues:** Eng. Agrônomo (2008), Mestre (2010) e Doutor (2014) em Produção Vegetal. É Agente de Pesquisa e Inovação em Desenvolvimento Rural do Incaper e professor do Centro Universitário Unifacig. Autor de mais de 100 artigos científicos, 10 livros, 20 capítulos de livros e 100 trabalhos em anais de eventos.

**Wallace de Paula Bernado:** Doutor em Produção Vegetal pela UENF. Atualmente é pesquisador de pós-doutorado da FAPESP, no Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC). Tem experiência na área de Botânica, com ênfase em Fisiologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: fotossíntese e mudanças climáticas.

**Weverton Pereira Rodrigues:** Doutor em Produção Vegetal e professor/pesquisador da UEMASUL. Dedicar-se ao estudo da Fisiologia e Ecofisiologia de culturas tropicais, com ênfase na investigação da influência de fatores ambientais sobre os processos bioquímicos e fisiológicos de plantas de interesse agrícola.

**Willian dos Santos Gomes:** Graduado em Ciências Biológicas, Mestre e Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas. Membro do Coffe Design Group.

## SUMÁRIO

<b><u>Capítulo 1.</u> Indicação de cinco genótipos de <i>Coffea canephora</i> para baixa temperatura: 1.100 metros de altitude no CAXIXE</b>	<b>15</b>
<b><u>Capítulo 2.</u> Indicação de cinco genótipos de <i>Coffea canephora</i> para Minas Gerais. Quatro colheitas em AIMORÉS</b>	<b>21</b>
<b><u>Capítulo 3.</u> Impacto das Mudanças Climáticas na Agricultura do Espírito Santo</b>	<b>29</b>
<b><u>Capítulo 4.</u> Influência do estresse na predisposição do cafeeiro às doenças abióticas</b>	<b>43</b>
<b><u>Capítulo 5.</u> Impacto de mudanças climáticas em pragas com ênfase no café</b>	<b>57</b>
<b><u>Capítulo 6.</u> Conilon de qualidade em Sooretama: uma jornada de tradição e sucessão familiar</b>	<b>71</b>
<b><u>Capítulo 7.</u> Qualidade na Altitude</b>	<b>81</b>
<b><u>Capítulo 8.</u> Cafeicultura do Futuro: A Importância Estratégica da Diversidade Genética do <i>Coffea canephora</i></b>	<b>87</b>
<b><u>Capítulo 9.</u> Desafios e possibilidades para o melhoramento genético do cafeeiro conilon como estratégia mitigadora das mudanças climáticas</b>	<b>99</b>
<b><u>Capítulo 10.</u> Desafios ecofisiológicos dos cafeeiros robustas amazônicos cultivados em terras Capixabas</b>	<b>113</b>
<b><u>Capítulo 11.</u> Radiação solar no cafeeiro: desafios e adaptações para o sucesso no pós-transplante</b>	<b>129</b>
<b><u>Capítulo 12.</u> <i>Coffea canephora</i>: microbiota do cafeeiro e qualidade do café em função das condições climáticas</b>	<b>143</b>

## **CAPÍTULO 9**

### **Desafios e possibilidades para o melhoramento genético do cafeeiro conilon como estratégia mitigadora das mudanças climáticas**

**João Felipe de Brites Senra**

**Tafarel Victor Colodetti**

**Wagner Nunes Rodrigues**

**Idalina Sturião Milheiros**

**Thalita Sousa Silva**

#### **1. Introdução**

As mudanças climáticas são o ponto focal de diversas discussões científicas, econômicas, políticas e públicas (Abrahams, 2020), pois tornaram-se um desafio para a humanidade em virtude dos efeitos locais, regionais e globais (Santos et al., 2022). Os impactos ambientais, sociais, políticos e econômicos já estão sendo observados, como mudanças no ciclo hidrológico, inundações frequentes, secas e maior incidência de pragas e doenças (IPCC, 2021).

Para a cafeicultura do conilon, observa-se que genótipos/cultivares recomendadas estão rapidamente perdendo sua adaptação e, com o tempo, agravando a bienalidade produtiva. Materiais genéticos de uso consolidado em certas regiões estão enfrentando restrições hídricas e térmicas cada vez mais rigorosas. Pragas e doenças que eram de menor incidência estão se

tornando mais frequentes, com o agravante de não existir um manejo recomendado e genótipos resistentes.

Para mitigação deste cenário, os programas de melhoramento genético são partícipes fundamentais no desenvolvimento de estratégias de convivência ou superação dos efeitos negativos das mudanças climáticas. Nesse contexto, citam-se três estratégias fundamentais aplicadas pelos programas de melhoramento genético do cafeeiro conilon: desenvolvimento de cultivares/genótipos com tolerância ao estresse hídrico; desenvolvimento de cultivares/genótipos para regiões de maiores altitudes; desenvolvimento de cultivares/genótipos para cultivo consorciados, sistemas agroflorestais ou policultivo.

## **2. Mudanças climáticas na cafeicultura**

Projeções globais indicam uma diminuição considerável na área adequada para a produção de café arábica em decorrência das alterações nos regimes pluviométricos e elevação da temperatura média (Ovalle-Rivera et al., 2015). Esse processo pode forçar o deslocamento da produção de café para regiões com condições climáticas mais favoráveis. No estado do Espírito Santo, esse fenômeno já vem sendo observado, com áreas tradicionalmente destinadas ao cultivo do cafeeiro arábica sendo gradativamente substituídas com a cafeicultura do conilon.

Muitas regiões produtoras de café estão cada vez mais enfrentando condições climáticas desfavoráveis ou extremas (Vinecky et al., 2017), tais como ondas severas de calor associadas com estiagens prolongadas, capazes de impactar a produção e a distribuição geográfica do café (Davis et al., 2006; Bunn et al., 2015; Vinecky et al., 2017). A América Central, por exemplo, é reconhecida como uma região crítica de vulnerabilidade e riscos às mudanças climáticas, com cenários prevendo diminuições drásticas na área adequada para o cultivo de café até 2050 (Läderach et al., 2017). Estima-se que 90% das áreas cafeeiras da Nicarágua deverão adequar seus cultivos para as



próximas décadas, sobretudo aquelas lavouras conduzidas em regiões de menores altitudes (Läderach et al., 2017).

Modelos matemáticos estimam que, na região sudeste do Brasil, haverá uma elevação progressiva da temperatura média do ar até 2050, atingindo um aumento de  $1,7\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,3$  (Gomes et al., 2020). Consequentemente, cerca de 60% das áreas atualmente consideradas adequadas para a cafeicultura serão consideradas inadequadas (Gomes et al., 2020).

A conscientização sobre as mudanças nas condições ambientais deve ser objeto de interesse por pesquisadores, agricultores e tomadores de decisão sobre como essas mudanças já impactam a cafeicultura, para que estratégias possam ser desenvolvidas e adotadas. Estudos recentes demonstram que a pressão de pragas e doenças poderá se intensificar com o agravamento das mudanças climáticas (Harelimana et al., 2022). Um estudo realizado por Jaramillo et al. (2009) constatou que o aumento de 1 a 2  $^{\circ}\text{C}$  na temperatura média poderia acelerar o desenvolvimento da broca do café (*Hypothenemus hampei*). Aumento superior a 2  $^{\circ}\text{C}$  forçaria a broca a migrar para altitudes superiores, intensificando os danos provocados pela praga na cafeicultura de montanha. Outros estudos sugeriram que a elevação da temperatura média poderia dobrar ou até triplicar o número de gerações da broca durante apenas um ciclo produtivo do café (Jaramillo et al., 2011; Rice, 2018). Em contrapartida, inimigos naturais podem não se adaptar às mudanças climáticas e, desta forma, desfavorecer o controle biológico (Furlong e Zalucki, 2017).

### **3. Melhoramento genético para tolerância ao estresse hídrico e térmico**

No contexto das mudanças climáticas, a ocorrência de secas intensas e atípicas é ponderada como uma das principais ameaças à produção cafeeira mundial (Martins et al., 2018; Semedo et al., 2018). O acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) é visto como um dos efeitos nocivos mais

expressivos causados pelos estresses térmicos e hídricos. Por exemplo, a diminuição da abertura estomática ocasionada por esses estresses causa restrições fotossintéticas, acumulando energia em excesso e favorecendo a formação de EROs (DaMatta e Ramalho, 2006).

Com a ocorrência de aumentos concomitantes na concentração de CO<sub>2</sub> e temperatura, evidências recentes mostraram que genótipos de café (genótipos Icatu e IPR108 de *C. arabica* e genótipo 153 de *C. canephora*) conseguem tolerar temperaturas até 37 °C, devido a ajustes metabólicos e moleculares (Martins et al., 2016; Rodrigues et al., 2016). No entanto, essa possível tolerância ao estresse térmico está estreitamente dependente de uma adequada disponibilidade hídrica para o cafeeiro (DaMatta et al., 2018). Com isso, cabe ressaltar a possibilidade de mitigação do aumento da temperatura com a suplementação hídrica no cafeeiro, e a necessidade de estudos dos impactos da ocorrência simultânea de restrição hídrica e elevação da temperatura.

O melhoramento genético do cafeeiro conilon desempenha papel crucial nesse contexto, sobretudo no desenvolvimento de materiais genéticos com tolerância a esses estresses abióticos. Sabe-se que as plantas podem responder de forma diferenciada em relação ao nível de estresse (Mishra et al., 2016), o que torna ainda mais pertinente o conhecimento dos efeitos da sobreposição das tensões abióticas (*e.g.*, estresse térmico e hídrico), haja visto que a velocidade de resposta da planta em relação ao metabolismo celular e aclimação fotossintética pode atuar como fator-chave para o desenvolvimento vegetal em ambientes oscilantes (Nouri et al., 2015). Além disso, o melhoramento do cafeeiro deve levar em consideração a capacidade resiliente dos genótipos após a imposição dos estresses, sobretudo no contexto dos mecanismos fisiológicos específicos envolvidos na adaptação (Song et al., 2014).

Uma ferramenta importante para o avanço do melhoramento genético consiste no uso de marcadores moleculares relacionados à expressão de tolerância aos estresses. Evidências científicas destacam a utilidade da identificação marcadores relacionados a genes (*e.g.*, *CaMYB1*, *CaERF017*, *CaEDR2*, *CaNCED*, *CaAPX1*, *CaAPX5*, *CaGolS3*, *CaDHN1* e *CaPYL8a*) com potencial para identificação de genótipos com maior eficiência fotoquímica para condições de déficit hídrico ou correlacionados com outras características de tolerância a seca (Santos et al., 2021).

#### **4. Melhoramento genético para o cultivo em altitude**

Devido à intensificação das ondas de calor decorrentes das mudanças climáticas, há uma tendência crescente de migração do cultivo do café conilon para altitudes mais elevadas em busca de temperaturas mais amenas (Ferrão et al., 2024). Com a migração dessa espécie para altitudes maiores, é necessária a investigação de genótipos adaptados a esta nova condição ambiental, agregando alternativas para uma produção de café mais sustentável (Bunn et al., 2015; Colodetti et al., 2016).

Efeitos mitigadores às mudanças climáticas podem ser obtidos pela associação do cultivo em maiores altitudes, uso de irrigação e genótipos de conilon mais adaptados. Tal condição pode ser entendida como uma conjuntura de estratégias para viabilizar um melhor aproveitamento dos recursos genéticos e hídricos, contribuindo para a sustentabilidade da atividade. Pesquisas sobre esse tema são importantes para melhor compreender a tolerância ao estresse hídrico e quantificar os ganhos que podem ser obtidos pela associação dessas práticas agrícolas, bem como avaliar os efeitos a longo prazo na produtividade do café, buscando principalmente a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos para futuras plantações.

Evidências recentes demonstram que o desempenho de genótipos de cafeeiro conilon é expressivamente variável quando cultivados em maior

altitude, para aspectos vegetativos e reprodutivos. A elevada variabilidade genética intrínseca dessa espécie é capaz de justificar tal resultado. Notadamente alguns genótipos, pertencentes à cultivares clonais registradas e durante o terceiro ciclo produtivo, foram capazes de apresentar desempenho produtivo satisfatórios em altitude de transição (650 m), como é o caso dos genótipos 105, 106, 108 e 109 (cultivar “Diamante ES8112 – Incaper”), genótipo 205 (cultivar “Jequitibá ES8122 – Incaper”) e genótipos 302 e 306 (cultivar “Centenária ES8132 – Incaper”), com produtividades superiores a 80 sacas de 60 kg por hectare. Em contrapartida, outros genótipos não apresentaram um desempenho expressivo para a produção, como é o caso do 101, 102, 103, 107, 202, 204, 208 e 308, com produtividades inferiores a 45 sacas por hectare (Jordaim et al., 2025).

Ganhos com a seleção clonal também podem ser favorecidos em estudos sobre a variabilidade genética de genótipos de conilon em altitude. Evidências de um estudo revelam elevada magnitude da herdabilidade dos genótipos cultivados em 850 m de altitude, o que aumentou a precisão e, consequentemente, a seleção de seis genótipos nessa condição, sendo eles: NV2, NV8, P1, 3V, Verdim TA e A1. Esses materiais se destacaram em produtividade, adaptabilidade e estabilidade, com capacidade produtiva variando de 36,7 a 59,9 sacas por hectare (Martins et al., 2019).

Outro aspecto relevante consiste na capacidade de crescimento vegetativo dos genótipos em função da variação da altitude de cultivo (700 m e 140 m). Dados recentes envolvendo 112 genótipos revelaram que, no geral, a altitude foi capaz de estimular o crescimento inicial. Além disso, observou-se elevada variabilidade genética para diversos descritores do crescimento vegetativo, inclusive a possibilidade de formação de agrupamentos com diferentes genótipos em cada condição de altitude (Senra et al., 2023).

A qualidade sensorial e composição química do café conilon também pode ser favorecida. Trabalhos demonstraram notas sensoriais ultrapassando

80 pontos para amostras de café de alguns genótipos de conilon cultivados em 650 m de altitude. Além disso, os compostos voláteis 4-etenil-2-metoxifenol, 2-furil-metanol e furfural, bem como os atributos sensoriais sabor, sensação na boca e amargor/doçura, favoreceram o estudo da divergência genética entre os genótipos de conilon e estiveram relacionados com a qualidade da bebida (Machado et al., 2021).

Diante desse contexto, o melhoramento genético da espécie *C. canephora* para ambientes de maior altitude, atuando como medida mitigadora das mudanças climáticas e observando as alterações no zoneamento agroclimatológico, é fundamental para a sustentabilidade da cafeicultura, sobretudo a de base familiar. Com isso, uma das principais preocupações referentes ao cultivo do conilon em maiores altitudes, consiste na ocorrência de menores temperaturas, uma vez que alterações térmicas podem causar grandes impactos na produção dos cafeeiros (Jaramillo et al., 2009). Muitas dessas áreas mais elevadas estão zoneadas como marginais para o cultivo de conilon, tendo em vista a possibilidade de impedimentos térmicos por menores temperaturas (Taques e Dadalto, 2019), o que justifica a necessidade de ampliação dos estudos voltados para o desempenho e seleção de genótipos em tais condições.

## **5. Melhoramento genético para sistemas agroflorestais**

A adoção de sistemas agroflorestais, consorciados ou policultivos, apresentam uma série de vantagens à cafeicultura além do potencial mitigador das mudanças climáticas. Abordagens na literatura sugerem que os sistemas de café sombreados e com múltiplas culturas são promissoras no manejo de pragas no contexto das mudanças do clima (Harelimana et al., 2022).

Os sistemas agroflorestais podem aumentar a ciclagem de nutrientes, a biodiversidade, o armazenamento de carbono e proporcionar um microclima mais ameno (Duarte et al., 2013; Nair, 1997). O microclima formado

apresenta uma menor temperatura média do ar e maior umidade do solo em comparação com a monocultura (Moreira et al., 2018). Pesquisas de campo na região serrana do sudeste do Brasil mostram que os sistemas agroflorestais podem reduzir as temperaturas máximas diárias em até 5 °C (Souza et al., 2012a, b).

O uso de sistemas agroflorestais pode mitigar os efeitos das mudanças climáticas (Lin, 2010), atenuando os efeitos da radiação solar, da velocidade do vento e da temperatura do ar (Pezzopane et al., 2010; Siles et al., 2010), levando à estabilização do microclima e aumento do aporte de carbono no solo (Gomes et al., 2016), bem como uma maior eficiência no uso da água (Lin, 2010). Modelos matemáticos estimam que a adoção de sistemas agroflorestais pode preservar até 75% das áreas aptas para a cafeicultura, que se tornariam inaptas até 2050 pelos efeitos das mudanças climáticas (Gomes et al., 2020).

Em virtude dos desafios condicionados pelas alterações do clima, a adoção de sistemas agroflorestais é hoje considerada uma solução agroecologicamente interessante para culturas perenes sensíveis às mudanças climáticas (Koutouleas et al., 2022). Contudo é necessário escolher adequadamente quais genótipos são passíveis de cultivo nesses sistemas. Nesse contexto, é fundamental o desenvolvimento de trabalhos direcionados ao melhoramento genético do *C. canephora* para cultivos agroflorestais, de modo a promover a seleção e agrupamento dos materiais mais responsivos e adaptados a cada condição.

Estudos recentes demonstraram que, ao buscar selecionar genótipos de café conilon promissores em sistemas agroflorestal (Eucalipto + banana + café) e consórcio (laranja + café), foi possível selecionar 20 materiais para cada um dos dois sistemas de cultivo, partindo de uma população de 90 genótipos. Destes 20 materiais, os clones 16, 17, 35, 43, 48, 61, 64, 68 e o 109 (genótipo controle pertencente a cultivar clonal Diamante ES8112) foram os

mais promissores para ambos os sistemas. Com isso, constatou-se elevada variabilidade genética entre os materiais e a possibilidade de exploração dessa variabilidade para objetivos específicos, como é o caso dos consórcios e sistemas agroflorestais (Senra et al., 2024).

Outro estudo bastante relevante estabeleceu um comparativo entre monocultivo do café e sistema agroflorestal com seringueira, durante quatro safras produtivas consecutivas e com genótipos de *C. canephora* e *C. arabica*. Ao estudar o potencial genético dos materiais com base em aspectos vegetativos, produtivos e fitossanitários, foi demonstrada a possibilidade de ganhos indiretos de seleção para as características em estudo. Os genótipos de conilon A1 e 5V apresentaram estabilidade, revelando notável capacidade de adaptação, independentemente do ambiente. Adicionalmente, os genótipos A1, 5V, 308 e LB1 destacaram-se como potenciais e promissores para o cultivo em sistemas agroflorestais (Senra et al., 2025).

Além da importância em se buscar novos genótipos para cultivos consorciados e agroflorestas, também é extremamente relevante o estudo do comportamento de genótipos melhorados em tais condições. Evidências recentes demonstram diferenças significativas em características vegetativas, reprodutivas e nutricionais entre oito genótipos de *C. canephora* consorciados com coqueiro-anão. A variabilidade fenotípica e genética que foi expressa, parece ser suficiente para permitir a seleção de genótipos mais adequados para o consórcio. Os genótipos 83, 48, 02 e 153 destacaram-se no consórcio com o coqueiro-anão, visto que a seleção destes materiais foi capaz de promover ganhos em diversas das características analisadas (Christo et al., 2018; Rodrigues et al., 2025).

Diante do exposto, notadamente se observa uma expressiva variabilidade genética na espécie *C. canephora*, o que conduz para a possibilidade de desenvolvimento de genótipos e/ou cultivares adaptados e responsivos para os cultivos consorciados e agroflorestais. Nesse contexto, o

melhoramento genético é uma ferramenta crucial para contribuir como estratégia de mitigação das mudanças climáticas, como viabilizador de sistemas de cultivo e colaborador para a sustentabilidade da atividade cafeeira.

## **6. Considerações finais**

O processo de mudanças climáticas está rapidamente modificando a produção de café no mundo, e o cafeeiro conilon não é uma exceção. À medida que novas áreas se tornam viáveis para o cultivo do conilon, em função das restrições enfrentadas pelo cafeeiro arábica, outras deixam de ser adequadas devido ao aumento do estresse hídrico e térmico. Dentre as soluções para a proteção do conilon, destacam-se o cultivo em regiões de maior altitude e em sistemas agroflorestais ou consorciados. Essas estratégias de mitigação abrem novos horizontes para os programas de melhoramento genético no mundo.

O melhoramento do conilon se depara com ambientes ainda pouco explorados, para os quais não existem clones amplamente validados. Ressalta-se que, na cafeicultura de montanha, há uma grande diversidade de microclimas, que variam de acordo com a orientação do relevo, enquanto os sistemas agroflorestais são dinâmicos e em constante transformação, moldados pelas espécies selecionadas pelos agricultores.

O desafio atual dos pesquisadores consiste em desenvolver e validar genótipos capazes de enfrentar as mudanças climáticas, conciliando alta produtividade, boa qualidade de bebida e menor suscetibilidade a pragas e doenças. O fortalecimento da cafeicultura de conilon em regiões de montanha e em sistemas arborizados representa uma alternativa estratégica para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, a promoção da segurança alimentar e a proteção da agricultura familiar.



## Referências

- Abrahams, D. (2020). Conflict in abundance and peacebuilding in scarcity: Challenges and opportunities in addressing climate change and conflict. *World Development*, 132, 104998. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104998>. Acesso em: 29 set 2025.
- Bunn, C.; Läderach, P.; Ovalle-Rivera, O.; Kirschke, D. A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, v.129, p.89–101, 2015. doi: 10.1007/s10584-014-1306-x.
- Christo, B.F.; Rodrigues, W.N.; Verdin Filho, A.C.; Colodetti, T.V.; Olivas, D.B.L.; Martins, L.D.; Oliveira, F.L.; Tomaz, M.A. Morpho-agronomic characterization of genotypes of Conilon coffee intercropped with dwarf coconut palms. *AUSTRALIAN JOURNAL OF CROP SCIENCE*, v.12, p. 1479-1485, 2018.
- Colodetti, T.V.; Brinate, S.V.B.; Erlacher, W.A.; Starling, L.C.T.; Tomaz, M.A. Aspectos gerais do cultivo de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* em altitudes marginais. In: Ferreira, A.; Lopes, J.C.; Ferreira, M.F.S.; Soares, T.C.B. **Tópicos Especiais em Produção Vegetal VI**. 1. ed. Alegre-ES: CCAUFES, 2016. p. 342-362.
- DaMatta, F.M.; Avila, R.T.; Cardoso, A.A.; Martins, S.C.V.; Ramalho, J.C. Physiological and Agronomic Performance of the Coffee Crop in the Context of Climate Change and Global Warming: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.66, p.5264-5274, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04537>. Acesso em: 29 set 2025.
- DaMatta, F.M.; Ramalho, J.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. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>. Acesso em: 29 set 2025.
- Davis, A.P.; Govaerts, R.; Bridson, D.M.; Stoffelen, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical J. Linnean Soc.* 152, 465–512. 2006. doi: 10.1111/j.1095-8339.2006.00584.x
- Duarte, E.M.G.; Cardoso, I.M.; Stijnen, T.; Mendonça, M.A.F.C.; Coelho, M.S.; Cantarutti, R.B.; Kuyper, T.W.; Villani, E.M.A.; Mendonça, E.S. Decomposition and nutrient release in leaves of Atlantic Rainforest tree species used in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v.87, p.835-847, 2013. Acesso em: <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9600-6>. Acesso: 29 set. 2025.
- Ferrão, M.A.G.; Riva-Souza, E.M.; Azevedo, C.; Volpi, P.S.; Fonseca, A.F.A.; Ferrão, R.G.; Montagnon, C.; Ferrão, L.F.V. Robust and Smart: Inference on Phenotypic Plasticity of *Coffea canephora* Reveals Adaptation to Alternative Environments. *Crop Science*, v.64, p.csc2.21298, 2024.
- Furlong, M.J.; Zalucki, M.P. Climate change and biological control: the consequences of increasing temperatures on host–parasitoid interactions. *Current Opinion in Insect Science*, v.20, p.39-44, 2017.
- Gomes, L.C.; Bianchi, F.J.J.A.; Cardoso I.M.; Fernandes, R.B.A.; Fernandes Filho, E.I.; Schulte, R.P.O. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.294, p. 106858, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858/>. Acesso: 29 set. 2025.
- Gomes, L.C.; Cardoso, I.M.; Mendonça, E.S.; Fernandes, R.B.A.; Lopes, V.S.; Oliveira, T.S. Trees modify the dynamics of soil CO<sub>2</sub> efflux in coffee agroforestry systems. *Agricultural*

- and **Forest Meteorology**, v.224, p. 30-39, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.001>. Acesso: 29 set. 2025.
- Harelimana, A.; Rukazambuga, D.; Hance, T. Pests and diseases regulation in coffee agroecosystems by management systems and resistance in changing climate conditions: a review. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v.129, p. 1041-1052, 2022. doi:10.1007/s41348-022-00628-1.
- IPCC. Climate Change 2021: **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L. *et al.*(Eds.). Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Jaramillo, J.C.; Adenirín, K.; Charles, J.; Vega, A.F.; Poehling, H.M.; Borgemeister, C. Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: predictions of climate change impact on a tropical insect pest. **PLOS ONE**, v.4, n.8, p. 1-11, 2009.
- Jaramillo, J.; MUCHUGU, E.; VEGA, F.E.; DAVIS, A.P.; BORGEMEISTER, C. Some like it hot: the influence and implications of Climate Change on coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and coffee production in East Africa. **PLOS ONE**, v.6, n.9, p.e24528, 2011.
- Jordaim, R.B.; Colodetti, T.V.; Rodrigues, W.N.; Salles, R.A.; Amaral, J.F.T.; Maciel, L.S.; Partelli, F.L.; Ramalho, J.D.C.; Tomaz, M.A. Genotypic Performance of *Coffea canephora* at Transitional Altitudes for Climate-Resilient Coffee Cultivation. **Horticulturae**, v.11, p.1-14, 2025.
- Koutouleas, A.; Sarzynski, T.; Bordeaux, M.; Bosselmann, A.S.; Campa, C.; Etienne, H.; Turreira-García, N.; Rigal, C.; Vaast, P.; Ramalho, J.C.; Marraccini, P.; Raebild, A. Shaded-Coffee: A Nature-Based Strategy for Coffee Production Under Climate Change? A Review. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.6, p.877476, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.877476>. Acesso em: 25 set. 2025.
- Läderach, P.; Ramirez-Villegas, J.; Navarro-Racines, C.; Zelaya, C.; Martinez-Valle, A.; Jarvis, A. Climate change adaptation of coffee production in space and time. **Climatic Change**, v.141, p.47-62, 2017. doi: 10.1007/s10584-016-1788-9
- Lin, B.L. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. **Agriculture For Meteorology**, v.150, p.510–518, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.11.010>. Acesso em: 25 set. 2025.
- Machado, J.L.; Tomaz, M.A.; Luz, J.M.R.; Osório, V.M.; Costa, A.V.; Colodetti, T.V.; Debona, D.G.; Pereira, L.L. Evaluation of genetic divergence of coffee genotypes using the volatile compounds and sensory attributes profile. **Journal of Food Science**, v. 87, p. 1-13, 2021.
- Martins, L.D.; Eugenio, F.C.; Rodrigues, W.N.; Brinati, S.V.B.; Colodetti, T.V.; Christo, B.F.; Olivas, D.B.L.; Partelli, F.L.; Amaral, J.F.T.; Tomaz, M.A.; Ramalho, J.D.C.; Santos, A.R. Adaptation to Long-Term Rainfall Variability for Robusta Coffee Cultivation in Brazilian Southeast. **American Journal of Climate Change**, v.7, p.487-504, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ajcc.2018.74030>. Acesso em: 29 set. 2025.

- Martins, M.Q.; Partelli, F.L.; Adésio, F.; Ramalho, J.D.C. Adaptability and stability of *Coffea canephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. **Scientia Horticulturae**, v.252, p.238-242, 2019.
- Martins, M.Q.; Rodrigues, W.P.; Fortunato, A.S.; Leitão, A.E.; Rodrigues, A.P.; Pais, I.P.; Martins, L.D.; Silva, M.J.; Reboredo, F.H.; Partelli, F.L.; Campostrini, E.; Tomaz, M.A.; Scotti-Campos, P.; Ribeiro-Barros, A.I.; Lidon, F.J.C.; DaMatta, F.M.; Ramalho, J.C. Protective Response Mechanisms to Heat Stress in Interaction with High [CO<sub>2</sub>] Conditions in *Coffea* spp. *Frontiers in Plant Science*, v. 29, p. 947-964, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00947>.
- Mishra, K.B.; Mishra, A.; Novotná, K.; Rapantová, B.; Hodaňová, P.; Urban, O.; Klem, K. Chlorophyll a fluorescence, under half of the adaptive growth irradiance, for high-throughput sensing of leaf-water deficit in *Arabidopsis thaliana* accessions. **Plant Methods**, v.12, n.46, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/s13007-016-0145-3>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Moreira, S.L.S.; Pires, C.V.; Marcatti, G.E.; Santos, R.H.S.; Imbuzeiro, H.M.A.; Fernandes, R.B.A. Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects. **Agric. For. Meteorol.**, v.256, n.257, p.379–390, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.026>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Nair, P.K.R. Directions in tropical agroforestry research: past, present, and future. **Agroforestry Systems**, v.38, p.223–245, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1005943729654>. Acesso em: 20 set 2025.
- Nouri, M.Z.; Moumeni, A.; Komatsu, S. Abiotic Stresses: Insight into Gene Regulation and Protein Expression in Photosynthetic Pathways of Plants. **International Journal of Molecular Science**, v.16, n.9, p.20392-416, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ijms160920392>. Acesso em 29 set 2025.
- Ovalle-Rivera, O.; Läderach, P.; Bunn, C.; Obersteiner, M.; Schroth, G. Projected shifts in *Coffea arabica* suitability among major global producing regions due to climate change. **PLOS One**, v.10, p.1–13, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124155>. Acesso em: 29 set 2025.
- Pezzopane, J.R.M.; Marsetti, M.M.S.; Souza, J.M.; et al. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com nogueira macadâmia. **Ciência Rural**, v.40, p.1257–1263, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000098>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Rice, R.A. Coffee in the crosshairs of climate change: agroforestry as abatis. **Agroecol Sustain Food Syst**, v.42, p.1058–1076, 2018.
- Rodrigues, W.N.; Christo, B.F.; Tomaz, M.A.; Colodetti, T.V.; Verdin Filho, A.C.; Senra, J.F.B.; Comério, M.; Volpi, P.S. Intercropping with dwarf coconut: vegetative, reproductive and nutritional traits of *Coffea canephora* genotypes recommended to monoculture. **Caderno pedagógico (Lajeado. Online)**, v.22, p.e13835, 2025.
- Santos, C.A.C.; Neale, C.M.U.; Mekonnen, M.M.; Goncalves, I.Z.; Oliveira, G.; Ruiz-Alvarez, O.; Safa, B.; Rowe, C.M. Trends of extreme air temperature and precipitation and their impact on corn and soybean yields in Nebraska, USA. **Theor. Appl. Climatol.**, v.147, p.1379–1399, 2022.
- Santos, M.O.; Coelho, L.S.; Carvalho, G.R.; Botelho, C.E.; Torres, L.F.; Vilela, D.J.M.; Andrade, A.C.; Silva, V.A. Photochemical efficiency correlated with candidate gene

- expression promote coffee drought tolerance. **Scientific Reports**, v.11, p.e7436, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86689-y>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Semedo, J.N.; Rodrigues, W.P.; Dubberstein, D.; Martins, M.Q.; Martins, L.D.; Pais, I.P.; Rodrigues, A.P.; Leitão, A.E.; Partelli, F.L.; Campostrini, E.; Tomaz, M.A.; reboredo, F.H.; Scotti-Campos, P.; Ribeiro-Barros, A.I.; Lidon, F.J.C.; DaMatta, F.M.; Ramalho, J.C. Coffee Responses to Drought, Warming and High [CO<sub>2</sub>] in a Context of Future Climate Change Scenarios. In: Alves, F.; Leal Filho, W.; Azeiteiro, U. (Edi). **Climate Change Management. Theory and Practice of Climate Adaptation**. Springer, Cap. 26, p. 465-477. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-72874-2>. Acesso em: 29 set 2025.
- Senra, J.F.B.; da Silva, J.A.; Esposti, M.D.D. Promising conilon coffee trees clones for agroforestry and intercropping systems. **Agroforest Syst**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-024-00988-7>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Senra, J.F.B.; Comerio, M.; Oliveira, R.G.; Silva, V.A.C.; Gomes, W.M.; Ferrão, M. A.G.; Verdin Filho, A.C.; Volpi, P. S.; Ferrão, R. G.; Almeida da Fonseca, A. F.; Tomaz, M. A. Avaliação do potencial genético de cafeeiros em sistemas agroflorestais com seringueira. **Bragantia**, v. 84, e20240182, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20240182>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Senra, J.F.B.; Silva, J.A.; Ferreira, A.; Esposti, M.D.D.; Ferrão, M.A.G.; Fassarella, K.M.; Silva, U.R.; Milheiros, I.S.; Silva, F.G. Initial performance and genetic diversity of coffee trees cultivated under contrasting altitude conditions. **Scientia Agricola**, v.80, p.e20220163. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2022-0163>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Siles, P.; Harmand, J.; Vaast, P. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v.78, p.269–286. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9241-yn>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Song, Y.; Chen, Q.; Ci, D.; Shao, X.; Zhang, D. Effects of high temperature on photosynthesis and related gene expression in poplar. **BMC Plant Biology**, v. 14, p. 111, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2229-14-111>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Souza, H. N.; Goede, R. G. M.; Brussaard, L.; Cardoso, I. M.; Duarte, E. M. G.; Fernandes, R. B. L. C.; Pulleman, M. M. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.146, p.179–196, 2012a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.007>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Souza, H.N.; Graaff, J.; Pulleman, M.M. Strategies and economics of farming systems with coffee in the Atlantic Rainforest Biome. **Agroforestry Systems**, v.84, p.227–242, 2012b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9452-x>. Acesso em: 29 set. 2025.
- Taques, R.C.; Dadalto, G.G. Agroclimatic Zoning for Conilon Coffee Culture in the State of Espírito Santo. In: Ferrão, R.G.; Fonseca, A.F.A.; Ferrão, M.A.G.; Muner, L.H. (Eds.). **Conilon Coffee**. Vitória: Incaper, 2019. p. 70–83. Incaper.
- Vinecky, F.; Davrieux, F.; Mera, A.C.; Alves, G.S.C.; Lavagnini, G.; Leroy, T.; et al. Controlled irrigation and nitrogen, phosphorous and potassium fertilization affect the biochemical composition and quality of Arabica coffee beans. **J. Agric. Sci.**, 155, 902–918, 2017. doi: 10.1017/S002185961600098.