

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE RONDÔNIA, *CAMPUS* COLORADO DO OESTE**

LUIZ HENRIQUE DA SILVA POMECHINSKI

**AVALIAÇÃO DE TROCAS GASOSAS EM FOLHAS DE ROBUSTAS AMAZÔNICOS
(*COFFEA CANEPHORA*) EM DIFERENTES ÉPOCAS**

COLORADO DO OESTE - RO

2023

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE RONDÔNIA, *CAMPUS* COLORADO DO OESTE**

LUIZ HENRIQUE DA SILVA POMECHINSKI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

COLORADO DO OESTE – RO

2023

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE RONDÔNIA
CAMPUS COLORADO DO OESTE
CURSO - ENGENHARIA AGRONÔMICA

Autor: Luiz Henrique da Silva Pomechinski

Orientador: Dr. Aldo Max Custodio

Situação: () Aprovado () Reprovado

Aprovado em: __ / __ / __

Aldo Max Custodio

Marcos Aurélio Anequine de Macedo

Nelio Ranieli Ferreira de Paula

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a DEUS, que me deu força e coragem para vencer todos os obstáculos e dificuldades enfrentadas durante o curso, dando-me serenidade e forças para continuar. Ao professor Aldo Max Custodio, meu orientador, por ter acreditado na possibilidade da realização deste trabalho. A minha mãe, irmão e amigos, com eles compartilho a realização deste trabalho que é um dos momentos mais importante da minha vida. A todos dessa instituição (IFRO) que permitiram que eu chegasse aonde estou.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo Geral.....	11
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Área de estudo.....	12
3.2 Delineamento e tratamentos.....	13
3.3 Manejo da cultura	14
3.4 Avaliação das Trocas Gasosas	15
3.5 Análises estatísticas	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5. CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a variação sazonal das trocas gasosas de Robustas Amazônicas irrigadas e não irrigadas cultivadas em condição de campo na Amazônia. A pesquisa foi realizada na fazenda experimental da Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR), localizada na rodovia RO-479, km 15, na cidade de Rolim de Moura – RO. As avaliações das trocas gasosas, se deu a partir da taxa de assimilação líquida de CO₂; transpiração; concentração ambiente (externa) de CO₂; concentração interna de CO₂; condutância estomática; déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar e; temperatura foliar. A partir dos dados do equipamento foi calculado a taxa instantânea de carboxilação - A/C_i ; a relação C_i/C_a ; a eficiência instantânea de uso da água - EUA e; a eficiência intrínseca de uso da água – E_{iUA} . Observou-se que, no sistema irrigado, teve-se efeito de interação para todos os parâmetros de trocas gasosas. Houve efeito de genótipo apenas para A. Para a Tf a interação entre genótipos e épocas foi significativa. conclui-se que as variações sazonais afetam significativamente os parâmetros fisiológicos de fotossíntese em Robustas Amazônicas. A irrigação também exerce um papel importante nessas variações. Esses resultados podem ser úteis para o desenvolvimento de estratégias de manejo e cultivo dessas espécies em regiões tropicais.

PALAVRAS CHAVE: Café, fotossíntese, estômatos, seca, Amazônia, Genótipo.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the seasonal variation of gas exchange in irrigated and non-irrigated Amazonian Robusta coffee plants grown under field conditions in the Amazon region. The research was conducted at the experimental farm of the Federal University of Rondônia (UNIR), located on Highway RO-479, km 15, in the city of Rolim de Moura – RO. Gas exchange assessments were made based on net assimilation rate of CO₂, transpiration rate, ambient (external) CO₂ concentration, internal CO₂ concentration, stomatal conductance, leaf-to-air vapor pressure deficit, and leaf temperature. From the collected data, the instantaneous carboxylation rate (A/C_i), the C_i/C_a ratio, the instantaneous water use efficiency ($iWUE$), and the intrinsic water use efficiency ($iWUE_i$) were calculated. It was observed that in the irrigated system, there was an interaction effect for all gas exchange parameters. Genotype had an effect only on A. The interaction between genotypes and seasons was significant for leaf temperature (Tf). It can be concluded that seasonal variations significantly affect the physiological

parameters of photosynthesis in Amazonian Robusta coffee plants, and irrigation also plays an important role in these variations. These results can be useful for the development of management and cultivation strategies for these species in tropical regions.

KEYWORDS: Coffee, photosynthesis, stomata, drought, Amazon genotype.

1. INTRODUÇÃO

Originária da África, a espécie *Coffea canephora* Pierre ex. Floehner apresenta cinco grupos de origem genética distintas (Cubry et al., 2013; Montagnon et al., 2012). Comercialmente, ela é conhecida como café “Conilon” no Brasil ou café “Robusta” em outras partes do mundo (Garavito et al., 2016).

A safra mundial de café robusta para o ano-cafeeiro 2021/2022 alcançou 77,1 milhões de sacas de 60kg, volume 4,6% maior que em 2020/2021. Atualmente, o Brasil é o maior produtor dessa espécie, sendo responsável por 29,7 milhões de sacas, a safra total, incluindo as espécies de arábica e robusta, estimada em 48,8 milhões de sacas de 60kg para a safra 2020/2021, número que representa aproximadamente 30% da produção mundial, estimada em 164,8 milhões de sacas (EMBRAPA, 2021).

No Brasil, parte da produção de *Coffea canephora* é oriunda da região amazônica, principalmente do estado de Rondônia. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Com base nos dados do mais recente levantamento da safra de café 2023 (Conab, 2023b), é previsto que o estado colherá cerca de 2,9 milhões de sacas beneficiadas de 60 kg. Essa quantidade representa um aumento de 5,1% em relação à safra de 2022. A área de produção permaneceu inalterada, mantendo-se em 64.977 hectares, enquanto a área em formação registrou um aumento de 5,6%, passando de 6.230 hectares para 6.580 hectares. A produtividade média estimada é de aproximadamente 45,3 sacas por hectare, apresentando um incremento de 5,1% em relação à safra anterior.

Além de ser fonte de renda para milhares de agricultores familiares e trabalhadores rurais, a cafeicultura é uma importante cadeia produtiva no Estado. O cultivo do café está ligado ao processo de colonização desta parte da Amazônia brasileira, sendo iniciado desde os anos 1970. Contudo, nos últimos 20 anos a cafeicultura rondoniense passou por transformações significativas, sobretudo pelo uso de mudas clonais oriundas de plantas selecionadas no campo, principalmente pelos agricultores (Dalazen et al., 2020). Conforme reportado na literatura, o uso de clones superiores proporciona um aumento qualitativo na uniformidade, produtividade e qualidade dos frutos (Carvalho et al., 2019).

Geneticamente, os cafeeiros cultivados atualmente em Rondônia tiveram sua origem a partir da hibridação natural de genótipos oriundos do estado Espírito Santo, pertencentes ao Grupo SG1 ou “Conilon” (Garavito et al., 2016; Montagnon et al., 2012), com alguns genótipos de grupo genético desconhecido (Souza et al., 2013; Teixeira et al., 2017), introduzidos do Banco de Germoplasma do Instituto Agronômico de Campinas - IAC, estado de São Paulo (sobre a coleção de *Coffea sp.* do IAC ler Silvestrini et al., 2008), cujas características são do grupo Robustas.

Os materiais “híbridos” selecionados e cultivados na região possuem características distintas do ‘Conilon’ cultivado no estado do Espírito Santo e são conhecidos como Robustas Amazônicos, por apresentar características encontradas em plantas do grupo “Robusta” (SG2) (Garavito et al., 2016). O trabalho de Silva e Alves (2016) distinguiu acessos dos genótipos cultivados nos dois estados entre si e entre grupos de acessos do IAC (‘Robustas’ e ‘Conilon’) e da Universidade Federal de Viçosa (UFV). A literatura especializada reporta os benefícios da hibridação na espécie *Coffea canephora*, seja do cruzamento entre genótipos de grupo genéticos diferentes quanto de genótipos do mesmo grupo (Carvalho et al., 2019; de Oliveira et al., 2018; Montagnon et al., 2012; Souza et al., 2013; Teixeira et al., 2017).

Os Robustas Amazônicos destacam-se pelo alto vigor, porte médio, tolerância a doenças, alta produtividade e qualidade superior de bebida - Robustas finos. Em Silva e Alves, (2016, 2017, 2018) foram apresentadas, de forma simples e breve, mais informações sobre os Robustas Amazônicos, desde sua origem até as perspectivas para o futuro. Outrossim, informações mais detalhadas sobre o cultivo de café na Amazônia brasileira podem ser obtidas em Marcolan e Espindula (2015). Especificamente sobre a qualidade de bebida, Dalazen et al. (2020) avaliaram alguns dos principais “clones” cultivados de Robustas amazônicos.

O desenvolvimento, o crescimento e a produtividade do cafeeiro, assim como dos demais vegetais, estão diretamente associados à fotossíntese (Sharma et al., 2020). Este processo chave do metabolismo vegetal pode ser dividido em duas etapas interdependentes: fotoquímica e bioquímica. Na primeira, a energia luminosa, captada nos complexos antenas e transferida aos centros de reações dos fotossistemas I e II, desencadeia uma série de reações de oxiredução que resulta na formação de um potente agente redutor (NADPH) e, paralelamente, de ATP (Urban et al., 2017). Estes compostos são então utilizados na segunda etapa, onde ocorre a redução do CO₂

ambiente, formando triosesfosfato, matéria prima de todas as outras moléculas orgânicas sintetizadas na planta. Contudo, a fotossíntese é sensivelmente afetada pelas condições ambientais. Fatores de estresses relacionados a balanço hídrico, temperatura, radiação e balanço nutricional inadequados (pelo excesso ou falta), por exemplo, podem interferir significativamente na etapa fotoquímica e/ou bioquímica (Banks, 2017; Kalaji et al., 2016; Sharma et al., 2020; Souza et al., 2020; Urban et al., 2017).

Os estresses ambientais podem reduzir a capacidade de uma planta fixar C e, conseqüentemente, afetar seu crescimento e sua produtividade. Em nível de campo, vários fatores concorrem simultaneamente para este processo (Kalaji et al., 2016). Desta forma, o estudo da interação planta/ambiente em nível de fotossíntese, ou mais especificamente, de suas fases, é um passo chave para identificar e/ou superar limitações ao cultivo e a produção de uma espécie em dadas condições (Gomes e Mendonça, 2015).

Segundo Taiz e Zeiger (2017) a compreensão da ecofisiologia das plantas cultivadas permite um manejo adequado otimizando o rendimento ou a performance da cultura no agroecossistema considerado. Alguns dos fatores climáticos apresentam níveis variáveis ao longo de um ano, porém, com certa estabilidade cíclica, acompanhando as estações do ano. Interrelacionadas entre si a radiação, temperatura, precipitação e umidade relativa do ar são as principais variáveis que podem afetar distintamente a fotossíntese ao longo de um ano em uma região.

Há um número consideravelmente baixo de trabalhos realizados em nível de campo em condições reais de cultivo demonstrando como o processo fotossintético de diferentes genótipos de *Coffea canephora* respondem às variações de temperatura e déficit hídrico, onde estas e outras variáveis (radiação, DPVAr etc) ocorrem simultaneamente, desencadeando respostas complexas. Um estudo recente no sudeste da Ásia com base em metadados obtidos no campo ao longo de dez safras revelou que a produção de *Coffea canephora* é fortemente dependente das condições ambientais (Kath et al., 2020). Este mesmo estudo sugere que entre 40 e 60% da produção de café conilon é explicada pelas condições climáticas (Kath et al., 2020), consistente com estudos anteriores para a espécie *Coffea arabica* (Craparo et al., 2015).

A região amazônica possui condições ambientais distintas de grande parte do Brasil, sendo caracterizadas com maiores taxas de umidade e temperaturas, onde, essas duas variações

juntas podem resultar em taxas de respiração maiores em plantas cultivadas, no entanto, ainda não há na literatura citação de efeitos dessas combinações em mudas clonais de cafeeiros canéfora na região (Alves et al., 2016).

As condições adversas do ambiente e dos diferentes substratos, como a retenção de água, disponibilidade de nutrientes e o crescimento das plantas, podem gerar efeitos distintos nas reações fisiológicas das plantas. Assim, como observado por Silva et al. (2016), onde esses efeitos ocasionam distúrbios nas trocas gasosas da planta, como a elevação ou diminuição da transpiração da planta, ou como captação do CO₂.

Em condições de cultivo a pleno sol, com altas taxas de radiação solar e com períodos de temperaturas altas, além da redução da produção, pode afetar as trocas gasosas, pois o café é considerado uma planta que apresenta valores baixos de fotossíntese líquida, podendo em face disso apresentar perda de eficiência fotoquímica do fotossistema II levando a formação de espécies reativas de oxigênio, ocasionando a escaldadura (CHAVES, et al., 2005), com perda da coloração verde, amarelecimento e em casos graves a queima foliar (ALVES e GUIMARÃES, 2010).

As trocas gasosas também são afetadas pelas condições climáticas, e a variação dessas condições pode ter um impacto significativo na fotossíntese das plantas. Por exemplo, a disponibilidade de água no solo é um fator crucial para a fotossíntese, uma vez que a água é um dos principais componentes da reação fotossintética (FLEXAS et al., 2016). Além disso, a temperatura afeta diretamente a atividade enzimática envolvida na fotossíntese, e a radiação solar influencia a eficiência fotossintética da planta (LOUARER et al., 2020). Dessa forma, o estudo das trocas gasosas permite entender como as plantas respondem às condições climáticas e, conseqüentemente, pode auxiliar no desenvolvimento de estratégias de manejo que permitam a adaptação das culturas às mudanças climáticas previstas para o futuro.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as trocas gasosas em folhas de Robustas Amazônicas em épocas distintas do ano.

2.2 Objetivos Específicos

Identificar variáveis relacionadas às trocas gasosas que são afetadas pelas épocas (estações) do ano.

Estudar o funcionamento dos estômatos a partir das trocas gasosas

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A pesquisa foi realizada na fazenda experimental da Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR), localizada na rodovia RO-479, km 15, na cidade de Rolim de Moura – RO (coordenadas geográficas: 11°34'5”S e 61°41'12”W, altitude de 275m). O clima da região é do tipo *Aw* – tropical com inverno seco, segundo a classificação de Köppen (Dubreuil et al., 2018). Na *Figura 1* foi apresentado os dados das variáveis meteorológicas (precipitação, temperatura e URar) no período de estudo.

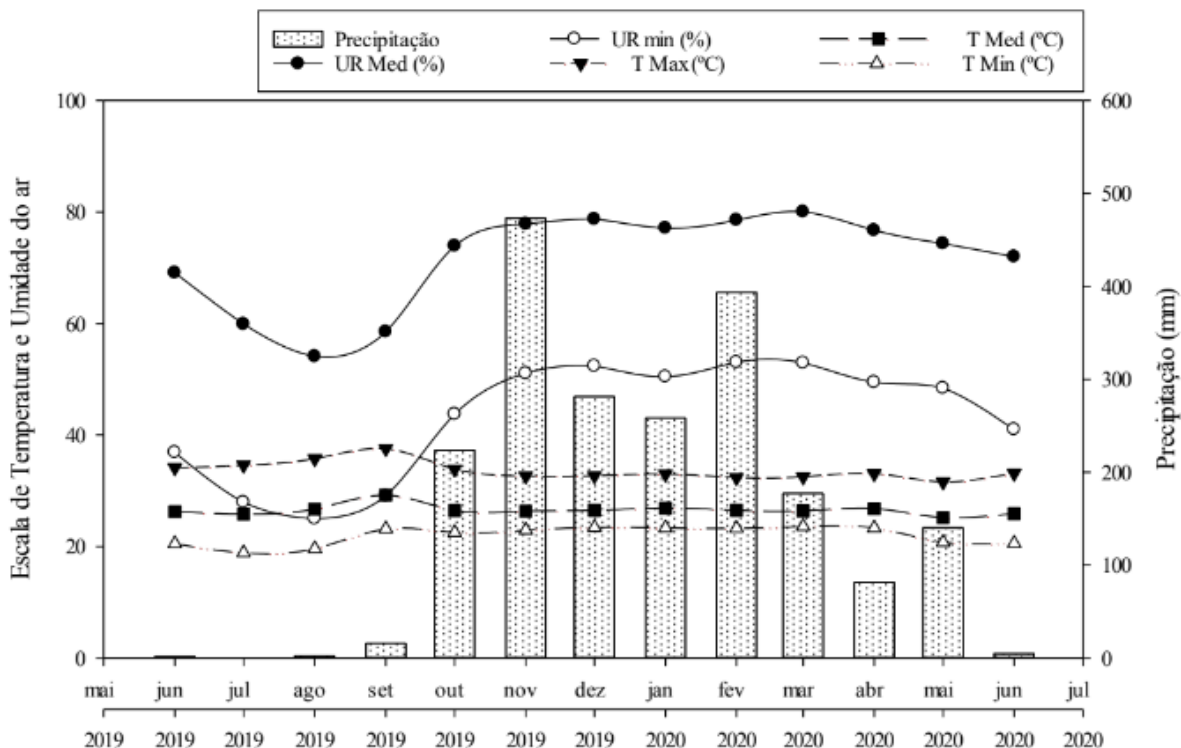


Figura 1: Dados meteorológicos da região de estudo durante a realização do trabalho. UR = média da umidade relativa do ar – min (mínima) e med (média); T = média da temperatura – Min (mínima), Max (máxima) e Med (média). Fonte: INMET/Estação A939.

A área experimental apresenta topografia plana e solo do tipo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018). O cafezal foi implantado em novembro de 2013, com mudas clonais de Robustas amazônicas (*Coffea canephora*), espaçadas a 3,0 m nas entrelinhas de cultivo e a 1,5 m entre plantas. Em parte da área o cultivo é feito com irrigação suplementar (sistema irrigado) e, em outra parte, sem irrigação (cultivo de sequeiro). Os dois sistemas de cultivo foram analisados separadamente, contudo, os procedimentos de manejo das plantas e das avaliações foram similares e executados simultaneamente em ambos, à exceção da irrigação.

3.2 Delineamento e tratamentos

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Os tratamentos foram arrançados em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas principais foram avaliados três genótipos diferentes (os três clones mais cultivados de Robustas

Amazônicos) (Dalazen et al., 2019, 2020): ‘Clone 25’ (C1); ‘Clone 08’ (C2) e ‘Clone 03’ (C3). As subparcelas consistiram em quatro épocas de avaliação:

- E1 – correspondeu ao período de plena estiagem (seca). As avaliações ocorreram entre os dias 23 e 25 de agosto de 2019 – neste período as plantas estavam no início da antese (sistema irrigado) e em pré-antese (sistema sequeiro);
- E2 – correspondeu ao período de consolidação da estação chuvosa, as avaliações foram realizadas entre os dias 21 e 24 de novembro de 2019 – nesta época as plantas encontravam-se na fase de crescimento dos frutos;
- E3 – correspondeu ao “ápice” do período chuvoso, as avaliações foram realizadas entre os dias 28 de fevereiro e 01 de março de 2020 – neste período ocorreu a etapa de “enchimento” dos grãos e;
- E4 – período de consolidação da estação seca, as avaliações foram realizadas entre os dias 25 e 28 de junho de 2020 – nesta época as plantas já tinham sido colhidas (20 dias antes) e, de forma atípica, florescido parcialmente.

3.3 Manejo da cultura

A adubação na área experimental é conduzida de acordo com Ferrão et al. (2019). Foi fornecido N (ureia), K₂O (KCl), P₂O₅ (MAP), B (ácido bórico) e Zn (sulfato de zinco) de forma convencional (manual) na projeção da copa do cafeeiro. Os tratamentos culturais foram realizados de acordo com a literatura e as recomendações técnicas para o estado de Rondônia (Ferrão et al., 2019; Marcolan e Espindula, 2015). O controle de plantas invasoras foi realizado com roçadas e capina manual seletiva.

No sistema de cultivo irrigado, a irrigação foi realizada com sistemas de gotejamento de forma suplementar nos meses de junho (2019 e 2020), julho, agosto e setembro (2019). Contudo, entre os dias 15 de julho e 10 de agosto do ano de 2019, a irrigação foi suspensa. Este procedimento é adotado nas unidades de produção da região e tem como objetivo aumentar a uniformidade no florescimento e, conseqüentemente, do amadurecimento dos frutos. A lâmina aplicada foi calculada conforme Bonomo et al. (2014), equivale ao somatório da evapotranspiração da cultura para irrigação localizada (*ETIoc*) entre os turnos de rega, fixo a

cada dois dias. Os dados climáticos foram obtidos da Estação Meteorológica A939-CACOAL, do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, situada no município de Cacoal-RO.

3.4 Avaliação das Trocas Gasosas

As análises foram realizadas com um sistema portátil de mensuração de gases no infravermelho – *IRGA* (Li-Cor – Li 6800) foram obtidos: a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$); transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$); concentração ambiente (externa) de CO₂ (C_a - $\mu\text{mol/mol}$); concentração interna de CO₂ (C_i - $\mu\text{mol/mol}$); condutância estomática (g_{sw} - $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (DPVar – kPa) e; temperatura foliar (T_f - °C). As avaliações foram realizadas com concentração ambiente de CO₂ de 400 $\mu\text{L L}^{-1}$, irradiância de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A partir dos dados do equipamento foi calculado a taxa instantânea de carboxilação - A/C_i ; a relação C_i/C_a ; a eficiência instantânea de uso da água - EUA ($\mu\text{mol de CO}_2/\text{mmol de H}_2\text{O}$) e; a eficiência intrínseca de uso da água - EiUA ($\mu\text{mol de CO}_2/\text{mol}$).

As análises foram realizadas em folhas completamente expandidas, do 3° ou 4° nó a partir do ápice do ramo plagiotrópico, escolhido do terço superior da planta (SILVA et al., 2019; RODRIGUES et al., 2018). As avaliações foram realizadas em duplicata (duas plantas por unidade experimental).

3.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F , 5%) e em seguida, quando necessário, à comparação múltipla das médias (*Scott-Knott*, 5%). As médias foram apresentadas em tabelas e em gráficos de coluna com barras do erro padrão da média. As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa computacional R utilizando o pacote ExpDes.pt para as análises univariadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No sistema de cultivo irrigado houve efeito de época para todos os parâmetros de trocas gasosas (*Figura 3*). Para transpiração e a taxa instantânea de carboxilação houve interação significativa entre os clones e a época de avaliação. Não houve efeito de genótipo. Os valores de transpiração e condutância estomática foram maiores na E3. Enquanto foi condutância

estomática menor na E1. Para os genótipos C25 e C08 os menores valores de a taxa de assimilação líquida de CO₂ foram observados em E1 e E4, para o C03 o menor valor foi na E1. Os maiores valores de a taxa de assimilação líquida de CO₂, por sua vez, foram observados em E2 (C25 e C08) e E3 (C25 e C03). Houve diferença entre os genótipos na E2 e E3, sendo que os C08 e C03 tiveram as maiores médias de a taxa de assimilação líquida de CO₂ em cada época, respectivamente. A eficiência instantânea de uso da água foi maior em E2 e a eficiência intrínseca de uso da água foi maior em E1 e E2. A relação concentração interna de CO₂ / concentração ambiente CO₂ apresentou médias menores em E1 e E2 e maior em E4 (*Figura 3*).

No sistema irrigado, o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar parece ter sido o fator ambiental chave para reduzir a condutância estomática na E1, uma vez que, durante a avaliação não havia déficit hídrico e a temperatura foi praticamente constante ao longo do ano. A condutância estomática é diretamente relacionada a abertura dos estômatos, que pode variar em resposta as condições ambientais, principalmente, déficit hídrico, temperaturas elevadas e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPVar = f(URar*Tar)$) (Grossiord et al., 2020).

A redução na condutância estomática manteve a transpiração na E1 próximo daquelas observadas em E2 e E4, mesmo com déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar cerca de 60% maior. O fechamento estomático é uma estratégia crucial e eficiente para limitar a perda de água da folha para a atmosfera. Contudo, este processo pode resultar na redução de concentração interna de CO₂ e, conseqüentemente, dá a taxa de assimilação líquida de CO₂ (Urban et al., 2017) (Rodrigues et al., 2018), como foi observado neste estudo (*Figura 4*). A redução na condutância estomática em resposta ao elevado déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, mesmo com disponibilidade hídrica no solo, pode indicar uma limitação da capacidade hidráulica das plantas de Robustas Amazônicas (Grossiord et al., 2020).

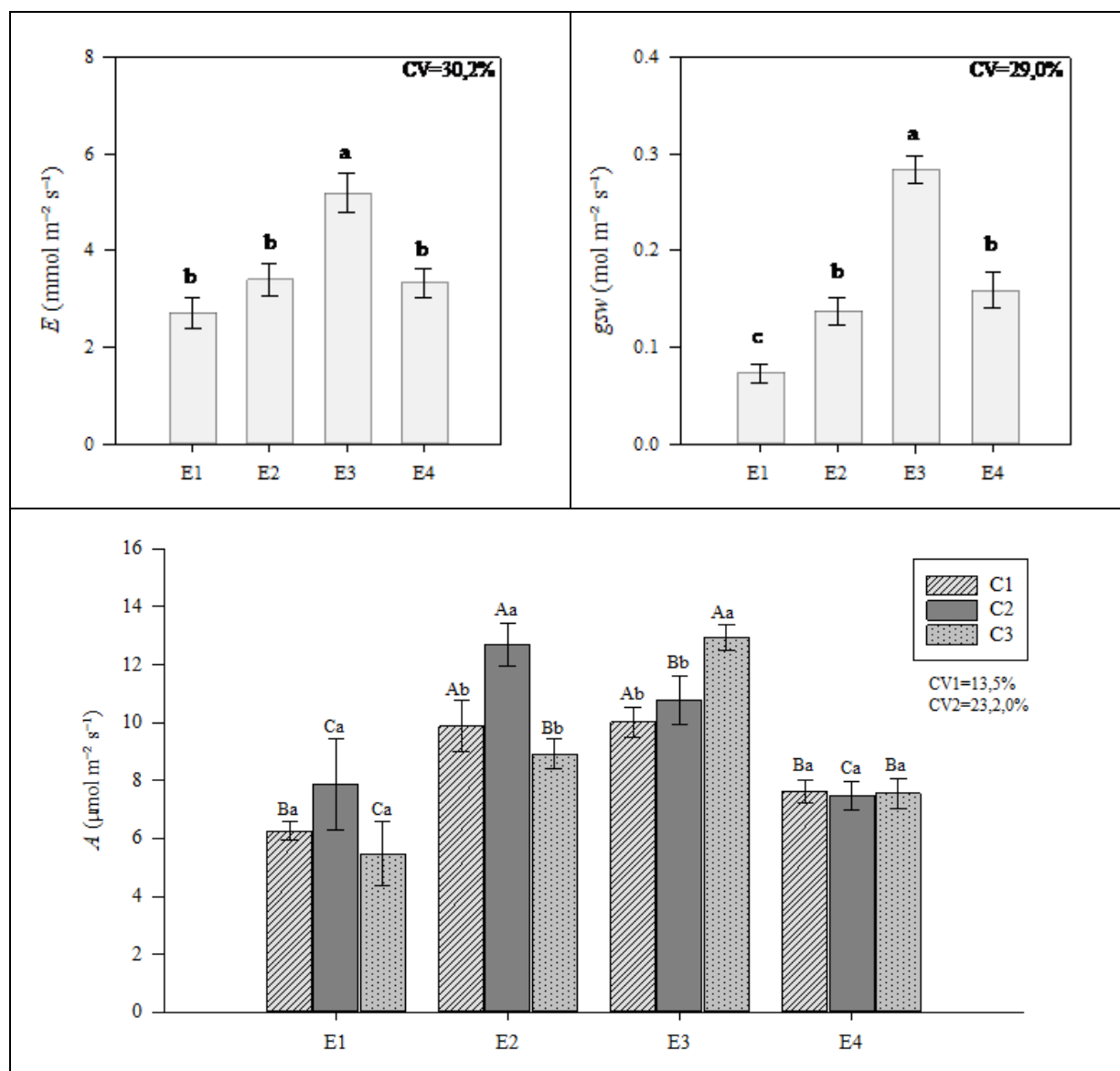
O trabalho de Kath (2022) demonstrou que a espécie *Coffea canephora* é altamente sensível ao déficit de pressão de vapor (DPVar), resultando em redução na taxa de fotossíntese, crescimento e desenvolvimento da planta. Os resultados indicaram que a sensibilidade de *C. canephora* ao déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar pode ser explicada pela sua menor eficiência na regulação estomática e pela sua menor capacidade de absorção de água do solo, o que torna a espécie mais suscetível a períodos prolongados de estresse hídrico.

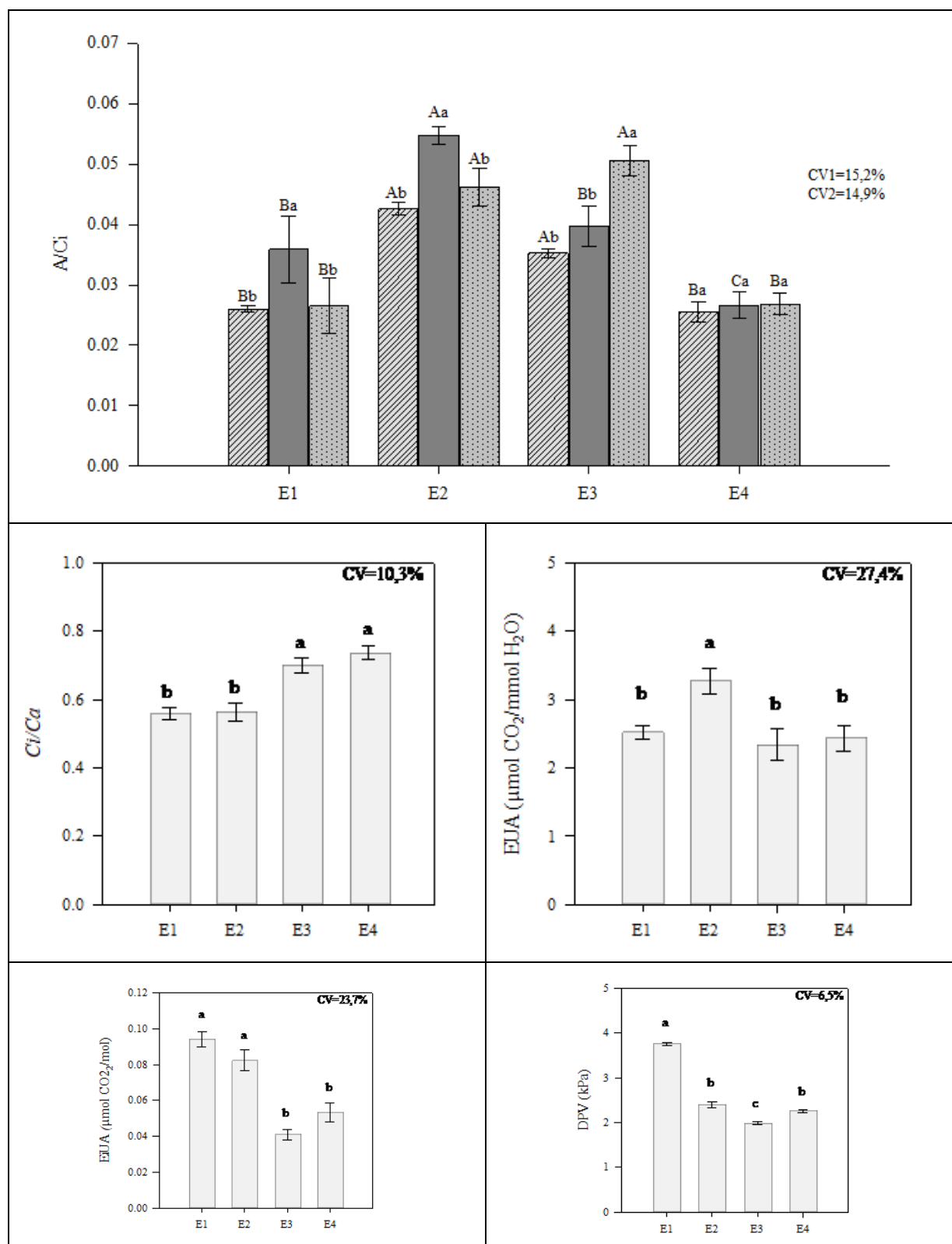
A redução na relação da taxa instantânea de carboxilação se deveu à maior queda, proporcionalmente, da taxa de assimilação líquida de CO₂ em relação à concentração interna de CO₂. Além da limitação estomática, a taxa de assimilação líquida de CO₂ pode também ter sido afetada por uma restrição a difusão de CO₂ da câmara subestomática até o local de carboxilação no estroma do cloroplasto, ou seja, redução na condutância mesofílica (gm) ou ainda por uma limitação bioquímica (Dubberstein et al., 2020; S. C. V. Martins et al., 2014; Praxedes et al., 2006).

Limitações difusivas (estomáticas e/ou mesofílicas) ocasionam o aumento da oxigenação da Rubisco em detrimento da carboxilação, portanto, leva ao aumento da fotorrespiração e, conseqüentemente, contribui para reduzir a taxa de assimilação líquida de CO₂ (DaMatta et al., 2019). Contudo, é importante destacar que a fotorrespiração pode ser um processo importante na proteção do aparato fotossintético contra a fotoinibição ao evitar o acúmulo de elétrons e a formação de espécies reativas de oxigênio (ERO) (Vieira et al., 2013).

Uma alta relação à taxa instantânea de carboxilação indica que a taxa de assimilação de CO₂ é alta em relação à concentração intercelular de CO₂, sugerindo que a limitação é principalmente bioquímica, e não mesofílica. Quando concentração interna de CO₂ (concentrado)

Na E2 a alta razão a taxa instantânea de carboxilação, com concentração interna de CO₂ baixo, comparativamente às outras épocas, foi um indicativo de ausência de limitação mesofílica nesta época (Flexas e Medrano, 2002). Neste caso, parece ter havido limitação estomática para o clone 03, já que apresentou uma taxa de assimilação líquida de CO₂ maior na E3, quando a condutância estomática e a concentração interna de CO₂ foi superior. Por sua vez, na E4 a limitação de a taxa de assimilação líquida de CO₂ parece ter sido de ordem bioquímica ou mesofílica já que houve, comparativamente a E2, valores superiores de concentração interna CO₂ (32% - igual ao de E3) e condutância estomática (16% - porém, estatisticamente iguais).





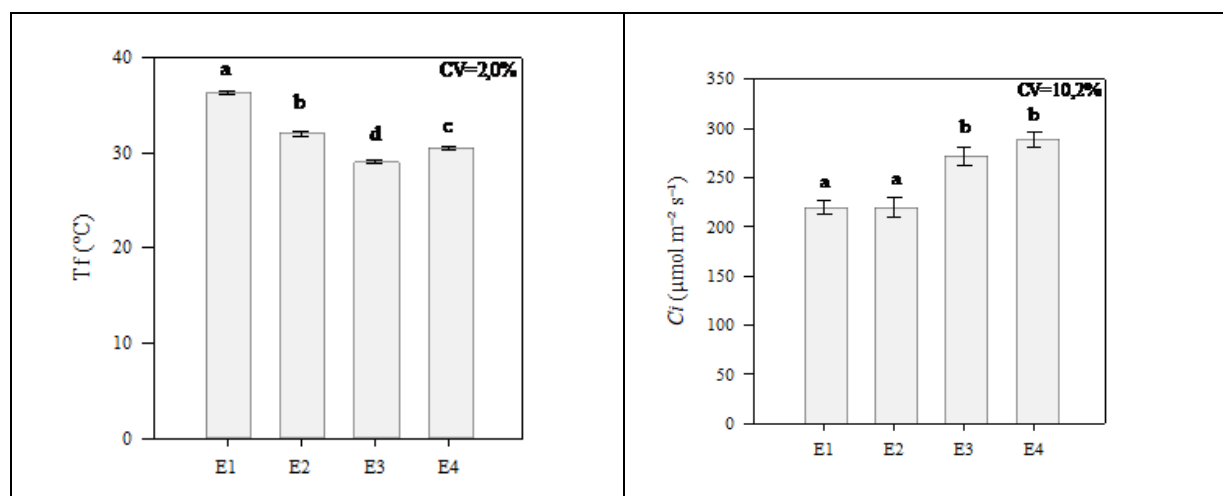


Figura 4: Parâmetros das trocas gasosas de clones de Robustas amazônicos cultivados em sistema irrigado em diferentes épocas de avaliação.

Na *Figura 5* são apresentados os dados de trocas gasosas obtidas dos cafeeiros em sistema de sequeiro. As médias de transpiração e a taxa de assimilação líquida de CO₂ foram menores na E1, respectivamente, 0,616 mmol m⁻² s⁻¹ e 2,15 μmol m⁻² s⁻¹. Em E2 e E3 a taxa de assimilação líquida de CO₂ foi superior a 11,45 μmol m⁻² s⁻¹. Para condutância estomática e a taxa instantânea de carboxilação houve diferença entre todas as épocas. O menor valor da taxa instantânea de carboxilação também foi na E1 (0,013), diferentemente, o maior valor foi obtido em E2 (0,048). Em E1 a concentração interna de CO₂ / concentração ambiente CO₂ foi de 0,43 diferindo das demais épocas. As épocas E2 e E3 tiveram médias estatisticamente iguais e com valores de concentração interna de CO₂ / concentração ambiente CO₂ intermediários entre E1 e E4, sendo esta última, a que apresentou o maior valor (0,77). A E1 teve uma eficiência instantânea de uso da água maior (3,77 μmol CO₂/mmol H₂O). Não houve diferença na eficiência instantânea de uso da água entre as outras épocas. Já a eficiência intrínseca de uso da água foi maior em E1 (0,128 μmol/mol) e menor em E3 (0,044 μmol/mol). O déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar em E1 foi de 3,97 kPa, superior ao das outras épocas. Em E3 foi observado o menor valor: 2,04 kPa.

Houve efeito de genótipo apenas para a taxa de assimilação líquida de CO₂. O C3, com média de 8,42 μmol m⁻² s⁻¹ e o C2, 8,05 μmol m⁻² s⁻¹ tiveram uma taxa de assimilação líquida de CO₂ maior que o C25 (7,09 μmol m⁻² s⁻¹). Para a temperatura foliar a interação entre genótipos e épocas foi significativa (*Figura 5*). Houve diferença na temperatura foliar entre os

clones em E1 e E2. Na E1 a maior média foi do C03. Já na E2 a maior média de temperatura foliar foi registrada no C08. Ambos os clones apresentaram temperatura foliar maior em E1 e menor em E3, entretanto, no C1 não houve diferença entre E2 e E4.

No sistema de sequeiro, a taxa de assimilação líquida de CO_2 foi consideravelmente reduzida na E1. A redução na concentração interna de CO_2 / concentração ambiente CO_2 indica que houve uma redução na concentração interna de CO_2 por conta da restrição estomática. A baixa condutância estomática observada na E1 provavelmente ocorreu em resposta ao déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar e a algum outro mecanismo ativado pelo déficit hídrico (baixo potencial de água no solo) (Dubberstein et al., 2020; Grossiord et al., 2020; Rodriguez-Dominguez et al., 2016). De fato, os valores da gsw no sistema sequeiro foram cerca de quatro vezes menores que a média das plantas irrigadas, enquanto o valor de déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar foi apenas 6% superior. As taxa de assimilação líquida de CO_2 elevadas nas E2 e E3, considerando o padrão natural da espécie (DaMatta et al., 2019), associadas com os valores altos de condutância estomática e concentração interna de CO_2 / concentração ambiente CO_2 indicam que não houve limitação estomática nestas épocas. O fechamento estomático e, conseqüentemente, a redução na transpiração pode resultar no aumento da temperatura foliar, notadamente, em dias de alta irradiância e temperatura (SILVA et al., 2019) (Grossiord et al., 2020). Este fato explicaria as variações de temperatura foliar observadas neste estudo, sobretudo na E1, em ambos os sistemas de cultivo.

Com relação aos valores de eficiência instantânea de uso da água na E1, no sistema de sequeiro, o resultado está associado à maior queda proporcional de transpiração, comparativamente à queda da taxa de assimilação líquida de CO_2 (Figura 4). Por outro lado, as maiores taxas de assimilação líquida de CO_2 nas E2, E3 e na E4 ocorreram a um custo elevado de água (E). A maioria das plantas aumenta a eficiência instantânea de uso da água durante períodos de maior déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar devido à relação não linear entre condutância estomática e assimilação de carbono (Grossiord et al., 2020).

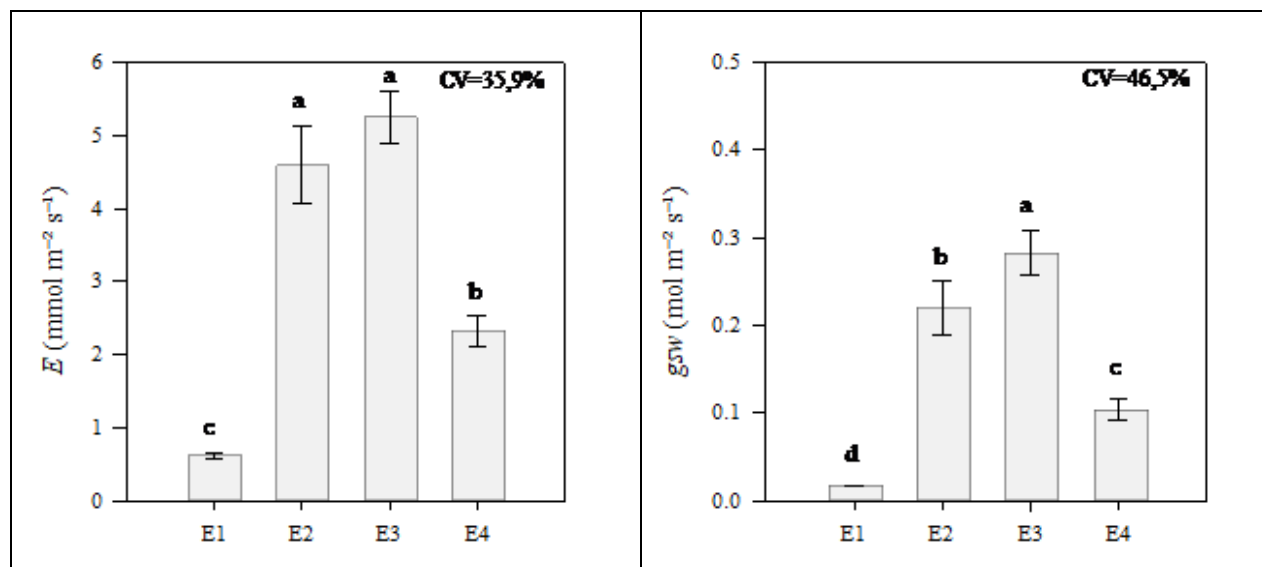
Foi observado valores de condutância estomática menores na E2, comparativamente a E3, em ambos os sistemas, mesmo com condições de alta disponibilidade hídrica (precipitação) e elevada URar (Figura 1). Provavelmente, este fato foi consequência de adaptações anatômicas ocorridas nas folhas como resultado das condições ambientais da E1, por exemplo, densidade e

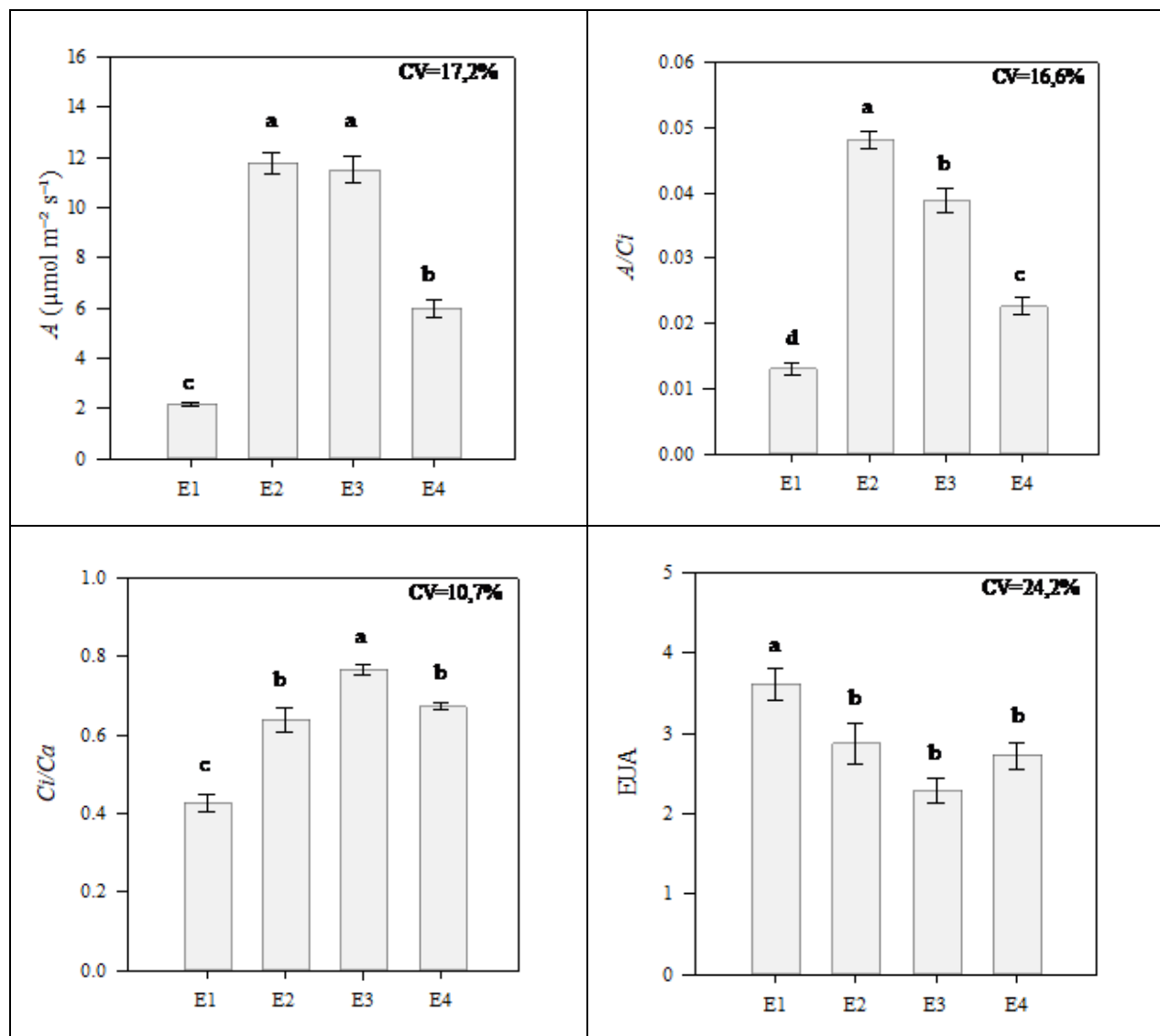
tamanho dos estômatos, densidade de nervuras e diâmetro dos vasos (arquitetura hidráulica) (DUBBERSTEIN et al., 2020).

Neste sentido, é válido ressaltar que as folhas avaliadas na E2 se originaram e tiveram parte de seu desenvolvimento ocorrendo nas condições da E1. Outra hipótese é que durante a E1, como consequência do elevado déficit de pressão de vapor, tenha ocorrido danos nos vasos do xilema, como cavitação, comprometendo parcialmente a capacidade hidráulica da planta e/ou da folha até a E2 (S. C. V. Martins et al., 2019). Dubberstein et al. (2020) não encontraram alterações na área estomática e densidade de estômatos em café “Conilon” sujeito a seca e elevação gradual da temperatura até 42/30° C (dia/noite).

Contudo, não ficou claro se as folhas avaliadas no final do período de estresse se originaram e se desenvolveram durante o período de déficit hídrico (54 dias). Já Thioune et al. (2020) atribuíram a manutenção de baixa condutância em mudas reidratadas de *Coffea canephora* a um efeito residual da resposta da planta a condições de déficit hídrico e estaria associado ao ABA.

Os dados relacionados à taxa de assimilação líquida de CO₂, associados aos dados de fenologia da planta, ajuda a compreender a dinâmica de crescimento de plantas de Robustas Amazônicas na região, caracterizado por um período de crescimento elevado a partir de outubro, e uma redução significativa a partir do mês de março, atingindo o menor nível em agosto (DUBBERSTEIN et al., 2017).





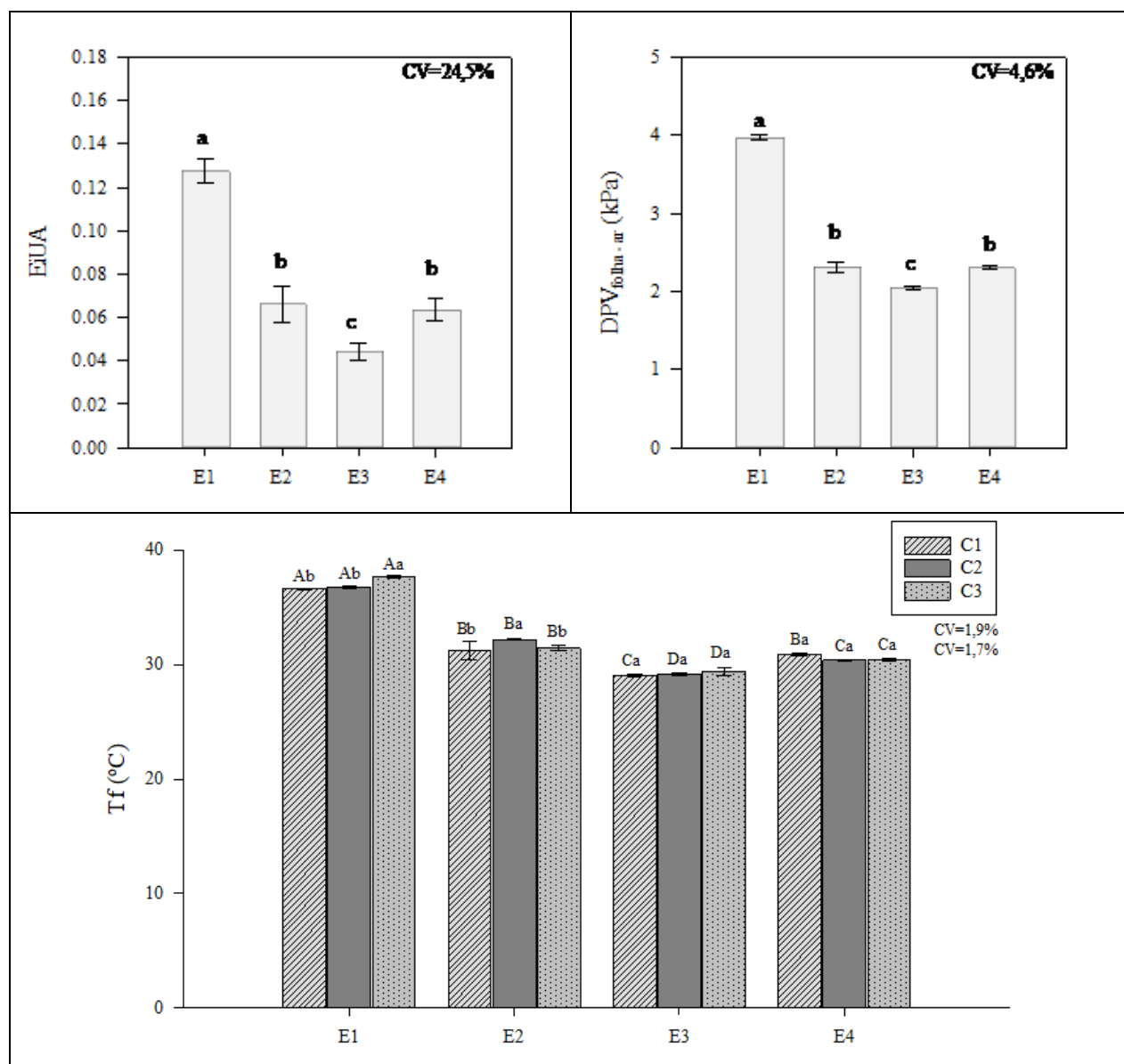


Figura 5: Parâmetros das trocas gasosas de clones de Robustas amazônicos cultivados em sistema sequeiro em diferentes épocas de avaliação.

As mudanças climáticas previstas para a região sudoeste da Amazônia brasileira, como o aumento da temperatura e a diminuição da disponibilidade de água, podem ter impactos significativos no cultivo do cafeeiro. Estudos indicam que o aumento da temperatura e a redução da umidade do ar podem aumentar a evapotranspiração das plantas e a taxa de perda de água pelo solo, o que pode levar a uma maior demanda de água para irrigação (NOBRE et al., 2016).

Para minimizar os efeitos das mudanças climáticas no cultivo do café, o manejo adequado dos recursos hídricos é fundamental. A irrigação pode ser uma ferramenta importante

para suprir a demanda hídrica das plantas durante períodos de estresse hídrico. No entanto, é importante que a irrigação seja realizada de forma eficiente e sustentável, considerando as necessidades hídricas das plantas em cada estágio de desenvolvimento e as condições climáticas locais (Bunn et al., 2015).

Além disso, o manejo do solo e a escolha de cultivares mais resistentes ao estresse hídrico podem ajudar a minimizar os impactos das mudanças climáticas no cultivo do café. Portanto, é importante que os produtores e pesquisadores trabalhem juntos para desenvolver estratégias de manejo que sejam adaptadas às condições climáticas em mudança e que garantam a sustentabilidade do cultivo do café na região sudoeste da Amazônia brasileira (Silva et al., 2019).

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a variação sazonal afetou os parâmetros fisiológicos associados à fotossíntese dos Robustas Amazônicos irrigados e não irrigados cultivados em condições de campo na Amazônia. Foi observado que a época de avaliação teve um impacto significativo na taxa de assimilação líquida de CO₂, na taxa instantânea de carboxilação e na eficiência intrínseca de uso da água. Além disso, houve interação significativa entre genótipos e épocas para a temperatura foliar e para a taxa de transpiração.

Os resultados indicam que a irrigação afetou significativamente todos os parâmetros de trocas gasosas avaliados, como condutância estomática, taxa de assimilação líquida de CO₂, déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, eficiência intrínseca de uso da água; taxa instantânea de carboxilação, concentração interna CO₂. No entanto, o efeito do genótipo foi observado apenas para a taxa de assimilação líquida de CO₂. O clone C03 apresentou a maior taxa de assimilação líquida de CO₂, seguido pelo C08 e C25.

Diante disso, conclui-se que as variações sazonais afetam significativamente os parâmetros fisiológicos de fotossíntese em Robustas Amazônicas. A irrigação também exerce um papel importante nessas variações. Esses resultados podem ser úteis para o desenvolvimento de estratégias de manejo e cultivo dessas espécies em regiões tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J.D.; GUIMARÃES, R.J. **Sintomas de desordens fisiológicas em cafeeiro.** (Ed.). Semiologia do Cafeeiro. Sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas. Lavras, MG: UFLA, 2010, p. 171-215.

BANKS, J. M. **Continuous excitation chlorophyll fluorescence parameters: A review for practitioners.** *Tree Physiology*, 37 (8), 2017, 1128–1136. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx059>. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28575512/>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2023.

BONOMO, D. Z.; BONOMO, R.; PEZZOPANE, J. R. M.; SOUZA, J. M. DE. **Alternativas De Manejo De Água De Irrigação Em Cultivos De Conilon.** *Coffee Science*, Lavras, v. 9, n. 4, p. 537 - 545, out./dez. 2014. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8113>>. Acesso em 14 de fevereiro de 2023.

BUNN, C., LÄDERACH, P., RIVERA, O.O., KIRSCHKE, D. (2015). **A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee.** *Climate Change*, 129, pp. 89-101.

CARVALHO, H. F., SILVA, F. L. DA, RESENDE, M. D. V. DE, & BHERING, L. L. **Selection and genetic parameters for interpopulation hybrids between koulou and robusta coffee.** *Bragantia*, 78(1), 2017, 52–59. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018124>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/brag/a/9mGNfkwWXsPxfgdPyNzXVmz/?lang=en>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2023.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café - Primeiro Levantamento 2021.**

CONAB. **Informativo agropecuário de Rondônia:** n. 10, Março/2023. – Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2023. PDF (36 p.).

CRAPAROA, A. C. W.; VAN ASTENB, P. J. A.; LÄDERACHC, P.; JASSOGNEB, L.T.P.; GRAB, S. W. **Coffea arabicayields decline in Tanzania due to climate change:Global implications.** *Agricultural and Forest Meteorology*, 207 (2015) 1–10. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192315000830#:~:text=arabica%20yiel>>

ds%20between%201961%20and,e%2D09)%20by%202060.>. Acesso em 14 de fevereiro de 2023.

CHAVES, A. R. M.; DaMATTA, F.M.; RIBEIRO, A.; PINHEIRO, H.A.; MORAES, G.K.; MATISTA, K.D.; DIAS, P.C.; ARAÚJO, W.L.; CATEN, A.T.; RONCHI, C.; CUNHA, R.L.; LOUREIRO, M. **Fotossíntese e mecanismos de proteção da escaldadura em Coffea arábica L., cultivado em campo sob dois níveis de irradiância.** Simpósio de pesquisas dos cafés do Brasil, 4, 2005, Londrina. Anais. Brasília: Embrapa Café, 2005. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/2033>>. Acesso de 12 de fevereiro de 2023.

DALAZEN, J. R., ROCHA, R. B., ESPINDULA, M. C., DIAS, J. R. M., & DALAZEN, J. R. **Base genética da cafeicultura e caracterização dos principais clones cultivados no estado de Rondônia. Café conilon: conhecimento para superar desafios.** (pp. 165–177). CAUFES., 2019. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1116989>. Acesso em 09 de fevereiro de 2023.

DAMATTA, F. M., RONCHI, C. P., MAESTRI, M., & BARROS, R. S. **Ecophysiology of coffee growth and production.** Brazilian Journal of Plant Physiology, 19(4), 2007, 485–510. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bjpp/a/xSBXnvrDDczyDbBtzspGs3v/>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2023.

DE OLIVEIRA, L. N. L., ROCHA, R. B., FERREIRA, F. M., SPINELLI, V. M., RAMALHO, A. R., & TEIXEIRA, A. L. **Selection of coffea canephora parents from the botanical varieties conilon and robusta for the production of intervarietal hybrids.** Ciencia Rural, 48(4), 2018, 1–7. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170444>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/6q6b8Kkw3dpY4rbhPC7PsdK/?lang=en>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2023.

DUBBERSTEIN, D., PARTELLI, F. L., GUILHEN, J. H. S., RODRIGUES, W. P., RAMALHO, J. C., & RIBEIRO-BARROS, A. I. **Biometric traits as a tool for the identification and breeding of coffea canephora genotypes.** Genetics and Molecular Research, 19(2), 2020, 1–17. <https://doi.org/10.4238/gmr18541>. Disponível em: <

<https://www.geneticsmr.com/articles/biometric-traits-tool-identification-and-breeding-coffea-canephora-genotypes>>. Acesso em 09 de fevereiro de 2023.

DUBBERSTEIN, et al. **Resilient and Sensitive Key Points of the Photosynthetic Machinery of Coffea spp. to the Single and Superimposed Exposure to Severe Drought and Heat Stresses.** *Frontiers in Plant Science*, 11(July), 2020, 1–22.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01049>.

Disponível:

<

<https://www.geneticsmr.com/articles/biometric-traits-tool-identification-and-breeding-coffea-canephora-genotypes>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F. L.; DIAS, J. R. M.; ESPINDULA, M. C. **Influência da adubação no crescimento vegetativo de cafeeiros na Amazônia sul ocidental.** *Coffee Science*, Lavras, v. 12, n. 2, p. 50 - 59, abr./jun. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1088854/influencia-da-adubacao-no-crescimento-vegetativo-de-cafeeiros-na-amazonia-sul-ocidental>. Acesso em 14 de fevereiro de 2023.

DUBREUIL, V., FANTE, K. P., NETO, O. P., & SANT'ANNA, J. L. **Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015.** *Confins*, 2018, 37. <https://doi.org/https://doi.org/10.4000/confins.15738>. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/15738>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos.** Embrapa Solos (5th ed.), 2018. EMBRAPA. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2021), **Produção mundial de café robusta deve atingir 77,1 milhões de sacas de 60kg na safra 2021-2022 e quebrar recorde histórico.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/65533440/producao-mundial-de-cafe-robusta-deve-atingir-771-milhoes-de-sacas-de-60kg-na-safra-2021-2022-e-quebrar-recorde-historico>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.

FERRÃO ET AL. CONILON COFFEE 3RD EDITION. **Conilon Coffee 3 rd Edition (3rd ed.), 2018.** INCAPER. <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3514/1/book->

conilon-coffee-3rd-edition-2019-Incaper.pdf. Disponível em: <
<https://fazendaventurim.com.br/conilon-coffee-3rd-edition-e-book/>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

FLEXAS, J. AND MEDRANO, H. (2002). **Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited**. *Annals of Botany*, 89(2), pp.183-189.

FLEXAS, J. et al. **Mesophyll conductance to CO₂ and Rubisco as targets for improving intrinsic water use efficiency in C3 plants**. *Plant, Cell & Environment*, v. 39, n. 5, p. 965-982, 2016.

GARAVITO, A., MONTAGNON, C., GUYOT, R., & BERTRAND, B. **Identification by the DArTseq method of the genetic origin of the Coffea canephora cultivated in Vietnam and Mexico**. *BMC Plant Biology*, 16(1), 2016, 242. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0933-y>. Disponível em: < <https://bmcplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-016-0933-y>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.

GOMES, F.P.; MENDONÇA, E.A.F. **Fotossíntese**. In: FERRI, M.G. *Fisiologia Vegetal: Tratado de Fisiologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015. p. 173-214.

GROSSIORD, C., BUCKLEY, T. N., CERNUSAK, L. A., NOVICK, K. A., POULTER, B., SIEGWOLF, R. T. W., SPERRY, J. S., & MCDOWELL, N. G. **Plant responses to rising vapor pressure deficit**. *New Phytologist*, 226(6), 2020, 1550–1566. <https://doi.org/10.1111/nph.16485>. Disponível em: < <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.16485>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.

KALAJI, H. M., JAJOO, A., OUKARROUM, A., BRESTIC, M., ZIVCAK, M., SAMBORSKA, I. A., CETNER, M. D., ŁUKASIK, I., GOLTSEV, V., & LADLE, R. J. **Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions**. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(4), 2016. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2113-y>. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-016-2113-y>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.

KATH, J., BYRAREDDY, V. M., CRAPARO, A., NGUYEN-HUY, T., MUSHTAQ, S., CAO, L., & BOSSOLASCO, L. **Not so robust: Robusta coffee production is highly sensitive to**

temperature. Global Change Biology, 26(6), 2020, 3677–3688.
<https://doi.org/10.1111/gcb.15097>. Disponível em: <

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.15097#:~:text=During%20the%20growing%20season%2C%20every,to%20temperature%20than%20previously%20thought.>>.

KATH, J. (2022). **Effects of vapor pressure deficit on Coffea canephora photosynthesis, growth, and development.** Plant Physiology and Biochemistry, 169, pp. 28-35.

LOUARER, L. et al. **The sensitivity of photosynthesis to O₂ and CO₂ concentration identifies O₂-insensitive electron transport steps: a mathematical modeling analysis.** Journal of Experimental Botany, v. 71, n. 8, p. 2415-2426, 2020.

MARCOLAN, A. L., & ESPINDULA, M. C. **Café na Amazônia (1st ed.)**, 2015. EMBRAPA. Disponível em: < file:///D:/Downloads/Livro-Cafe-na-Amazonia-Digital-2015.pdf>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.

MARTINS, S. C. V., GALMÉS, J., CAVATTE, P. C., PEREIRA, L. F., VENTRELLA, M. C., & DAMATTA, F. M. **Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: Bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis.** PLoS ONE, 9(4), 2014, 1–10.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095571>. Disponível em: <
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0095571>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.

MARTINS, S. C. V., SANGLARD, M. L., MORAIS, L. E., MENEZES-SILVA, P. E., MAURI, R., AVILA, R. T., VITAL, C. E., CARDOSO, A. A., & DAMATTA, F. M. **How do coffee trees deal with severe natural droughts? An analysis of hydraulic, diffusive and biochemical components at the leaf level.** Trees - Structure and Function, 33(6), 2019, 1679–1693.
<https://doi.org/10.1007/s00468-019-01889-4>. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/334582352_How_do_coffee_trees_deal_with_severe_natural_droughts_An_analysis_of_hydraulic_diffusive_and_biochemical_components_at_the_leaf_level>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

MEDRANO, H. et al. **Leaf responses to drought stress**. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 1725, 2017.

MONTAGNON, C., CUBRY, P., & LEROY, T. **Amélioration génétique du caféier *Coffea canephora* Pierre: Connaissances acquises, stratégies et perspectives**. *Cahiers Agricultures*, 21(2–3), 2012, 143–153. <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0556>. Disponível em: <<https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30970>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

NIINEMETS, U.; OJA, V.; KULL, O. **Shape of leaf photosynthetic electron transport versus temperature response curve is not constant along canopy light gradients in temperature deciduous trees**. *Plant Cell and Environment*, v. 22, n.12, p.1497-1513, 1999. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3040.1999.00510.x>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

NOBRE, C.A., BORMA, L.S., CASTILLA-RUBIO, J.C., SILVA, J.S., CARDOSO, M. (2016). **Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm**. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(39), pp. 10759-10768.

PRAXEDES, S. C., DAMATTA, F. M., LOUREIRO, M. E., MARIA, M. A., & CORDEIRO, A. T. **Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. kouillou) leaves**. *Environmental and Experimental Botany*, 56(3), 2006, 263–273. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.008>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847205000407>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

RODRIGUES, WEVERTON P., SILVA, J. R., FERREIRA, L. S., FILHO, J. A. M., FIGUEIREDO, F. A. M. M. A., FERRAZ, T. M., BERNADO, W. P., BEZERRA, L. B. S., DE ABREU, D. P., CESPOM, L., RAMALHO, J. C., & CAMPOSTRINI, E. **Stomatal and photochemical limitations of photosynthesis in coffee (*Coffea* spp.) plants subjected to elevated temperatures**. *Crop and Pasture Science*, 69(3), 2018, 317. <https://doi.org/10.1071/CP17044>. Disponível em: <<https://bioone.org/journals/crop-and-pasture->

science/volume-69/issue-3/CP17044/Stomatal-and-photochemical-limitations-of-photosynthesis-in-coffee-Coffea

spp/10.1071/CP17044.short#:~:text=Stomatal%20and%20photochemical%20limitations%20of,p
lants%20subjected%20to%20elevated%20temperatures&text=Temperature%20increase%20assu
mes%20a%20prominent,significant%20impact%20on%20plant%20metabolism.>. Acesso em 12
de fevereiro de 2023.

SHARMA, A., KUMAR, V., SHAHZAD, B., RAMAKRISHNAN, M., PREET, G., SIDHU, S.,
BALI, A. S., HANDA, N., KAPOOR, D., YADAV, P., KHANNA, K., BAKSHI, P., REHMAN,
A., KOHLI, S. K., KHAN, E. A., PARIHAR, R. D., YUAN, H., THUKRAL, A. K.,
BHARDWAJ, R., & ZHENG, B. **Photosynthetic Response of Plants Under Different Abiotic
Stresses.** Journal of Plant Growth Regulation, 39(2), 2020, 509–531.
<https://doi.org/10.1007/s00344-019-10018-x>. Disponível em: <
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-019-10018-x>>. Acesso em 12 de fevereiro de
2023.

SILVA, P. S. O. DA, OLIVEIRA, L. F. G., SILVA GONZAGA, M. I., DE OLIVEIRA ALVES
SENA, E., DOS SANTOS MACIEL, L. B., PINHEIRO FIAES, M., DE MATTOS, E. C., &
GUTIERREZ CARNELOSSI, M. A. **Effects of calcium particle films and natural shading on
ecophysiological parameters of conilon coffee.** Scientia Horticulturae, 245, 2019, 171–177.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>. Disponível em: <
[SILVA, F.A., LIMA, D.V., SILVA, G.A., SILVA, D.S. \(2019\). **Mudanças climáticas e a
cultura do café no Brasil: uma revisão.** Revista Brasileira de Geografia Física, 12\(6\), pp. 2032-
2042.](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423818307052#:~:text=These%20fil
ms%20resulted%20in%20improvement,natural%20shading%20with%20banana%20trees.>.
Acesso em 12 de fevereiro de 2023.</p>
</div>
<div data-bbox=)

SILVA, R. K. DA, & ALVES, E. A. (2016). **Cafés de Rondônia: sabor e qualidade que vêm
da Amazônia.** Cafés de Rondônia, 43. <https://www.embrapa.br/rondonia/cafes-de-rondonia>.
Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

SILVA, R. K. DA, & ALVES, E. A. (2017). **The world of coffee in the Amazon**. Cafés de Rondônia, 2, 71. <https://www.embrapa.br/rondonia/cafes-de-rondonia> Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

SILVA, R. K. DA, & ALVES, E. A. (2018). **Aroma, flavor and origin**. Cafés de Rondônia, 3, 79. <https://www.embrapa.br/rondonia/cafes-de-rondonia>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

SILVESTRINI, M., MALUF, M. P., SILVAROLLA, M. B., GUERREIRO-FILHO, O., MEDINA-FILHO, H. P., VANINI, M. M. T., OLIVEIRA, A. S., DE GASPARI-PEZZOPANE, C., & FAZUOLI, L. C. **Genetic diversity of a Coffea Germplasm Collection assessed by RAPD markers**. Genetic Resources and Crop Evolution, 55(6), 2008, 901–910. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9295-5>. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/880531/genetic-diversity-of-a-coffee-germplasm-collection-assessed-by-rapd-markers>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.

SOUZA, F. DE F., CAIXETA, E. T., FERRÃO, L. F. V., PENA, G. F., SAKIYAMA, N. S., ZAMBOLIM, E. M., ZAMBOLIM, L., & CRUZ, C. D. **Molecular diversity in Coffea canephora germplasm conserved and cultivated in Brazil**. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 13(4), 2013, 221–227. <https://doi.org/10.1590/s1984-70332013000400001>. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/cbab/a/SBhJhnmkLf5qyJJzrJWc4Hf/?lang=en>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.

SOUZA, B. S.; MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, F. P.; LOUREIRO, M. E. STURIAO, W. **P. Gas exchanges and chlorophyll fluorescence of young coffee plants submitted to water and nitrogen stresses**. Journal of Plant Nutrition. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1771589>. Disponível em:<<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2020.1771589?journalCode=lpla20>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, FLAVIO, DE F. S., RODRIGO, B. R., JOSE, R. V. J., JOSEMAR, D. T., KARINE, M. R., MARCOS, S. DE M., CAMILA, A. S., VICTOR, E. G. DE O., & JOAO, L. R. L. **Performance of intraspecific hybrids (Kouillou x Robusta) of Coffea canephora Pierre**.

African Journal of Agricultural Research, 12(35), 2017, 2675–2680.
<https://doi.org/10.5897/ajar2017.12446>. Disponível em: <
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172222/1/Performance-Teixeira.pdf>>.
Acesso de 13 de fevereiro de 2023.

URBAN, L., AARROUF, J., & BIDEL, L. P. R. **Assessing the effects of water deficit on photosynthesis using parameters derived from measurements of leaf gas exchange and of chlorophyll a fluorescence.** *Frontiers in Plant Science*, 8, 2017, 1–18.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02068>. Disponível em: <
<https://www.semanticscholar.org/paper/Assessing-the-Effects-of-Water-Deficit-on-Using-of-Urban-Aarrouf/f705735bd84935ea86755474a6f083db963af8f0>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

VIEIRA, N. G., CARNEIRO, F. A., SUJII, P. S., ALEKCEVETCH, J. C., FREIRE, L. P., VINECKY, F., ELBELT, S., SILVA, V. A., DAMATTA, F. M., FERRÃO, M. A. G., MARRACCINI, P., & ANDRADE, A. C. **Different Molecular Mechanisms Account for Drought Tolerance in Coffea canephora var . Conilon.** *Tropical Plant Biology*, 6, 2013, 181–190. <https://doi.org/10.1007/s12042-013-9126-0>. Disponível em: <
<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/974852/different-molecular-mechanisms-account-for-drought-tolerance-in-coffee-canephora-var-conilon>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.