

## Variáveis Morfofisiológicas e Produtividade na Pré-seleção de Cafeeiros Cultivados no Cerrado do Planalto Central



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**  
**Embrapa Café**  
**Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA**  
**E DESENVOLVIMENTO**  
**4**

**Variáveis Morfofisiológicas e Produtividade**  
**na Pré-seleção de Cafeeiros Cultivados**  
**no Cerrado do Planalto Central**

*Milene Alves de Figueiredo Carvalho*  
*Elisângela Aparecida da Silva*  
*Gustavo Costa Rodrigues*  
*Adriano Delly Veiga*  
*Antonio Fernando Guerra*

**Embrapa Café**  
**Brasília, DF**  
**2022**

**Embrapa Café**  
Parque Estação Biológica (PqEB)  
Av. W3 Norte (final), Ed. Sede  
CEP: 70770-901, Brasília, DF  
Fone: +55 (61) 3448-4378 / 4010  
Fax: +55 (61) 3448-1797  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Embrapa Café

Presidente  
*Lucas Tadeu Ferreira*

Vice-Presidente  
*Jamilsen de Freitas Santos*

Secretária-Executiva  
*Adriana Maria Silva Macedo*

Membros  
*Anísio José Diniz, Carlos Henrique Siqueira de Carvalho, Helena Maria Ramos Alves, Lucilene Maria de Andrade, Mauricio Sergio Zacarias, Milene Alves de Figueiredo Carvalho, Omar Cruz Rocha, Rogério Novais Teixeira, Roseane Pereira Villela.*

Revisão de texto  
*Everaldo Correia da Silva Filho*

Normalização bibliográfica  
*Rejane Maria de Oliveira*

Tratamento das ilustrações  
*Thiago Farah Cavaton*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Thiago Farah Cavaton*

Foto da capa  
*Adriano Delly Veiga*

**1ª edição**  
Publicação digital (2022): PDF

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa, Superintendência de Comunicação

---

Variáveis morfofisiológicas e produtividade na pré-seleção de cafeeiros cultivados no Cerrado do Planalto Central / Milene Alves de Figueiredo Carvalho ... [et al.]. – Brasília, DF : Embrapa Café, 2022.

PDF (19 p.). – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Café, ISSN 2237-9738 ; 4).

1. *Coffea canephora*. 2. Suspensão hídrica. 3. Manejo de irrigação. 4. Conilon. 5. Fisiologia. 6. Anatomia 7. Produtividade. I. Silva, Elisângela Aparecida da. II. Rodrigues, Gustavo Costa. III. Veiga, Adriano Delly. IV. Guerra, Antonio Fernando. V. Título. VI. Série.

CDD (21.ed.) 633.73

## Sumário

---

Resumo .....	5
Abstract .....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos .....	8
Resultados e Discussão .....	10
Conclusões.....	17
Agradecimentos.....	17
Referências .....	17



# Variáveis Morfofisiológicas e Produtividade na Pré-seleção de Cafeeiros Cultivados no Cerrado do Planalto Central

Milene Alves de Figueiredo Carvalho<sup>1</sup>

Elisângela Aparecida da Silva<sup>2</sup>

Gustavo Costa Rodrigues<sup>3</sup>

Adriano Delly Veiga<sup>4</sup>

Antonio Fernando Guerra<sup>5</sup>

**Resumo** – O cultivo do cafeeiro em áreas de Cerrado utiliza o manejo de irrigação com suspensão hídrica no período reprodutivo visando à uniformização da florada, obtendo-se frutos em estádios de maturação mais uniformes e cafés com qualidade. Verificou-se o potencial de algumas variáveis morfofisiológicas em se correlacionar com a produtividade para serem utilizadas na pré-seleção de genótipos de *Coffea canephora* que melhor se adaptem ao manejo de irrigação utilizado no Cerrado. O experimento foi conduzido na região do Cerrado do Planalto Central avaliando-se sete clones de *C. canephora* no ano de 2016. As plantas passaram por um período de suspensão da irrigação de 56 dias para a uniformização da florada; as avaliações morfofisiológicas foram realizadas antes e no final do período de suspensão da irrigação e 2 dias e 3 meses após o retorno da irrigação. As variáveis diâmetro dos vasos do xilema, espessura do floema, relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos, eficiência quântica potencial do fotossistema II, conteúdo relativo de água e índice de área foliar apresentam potencial de serem utilizadas na pré-seleção de genótipos de *Coffea canephora* que melhor se adaptem ao manejo de irrigação utilizado no Cerrado, por possuírem relação com a variável produtividade.

**Termos para indexação:** *Coffea canephora*, suspensão hídrica, manejo de irrigação, conilon, fisiologia, anatomia, produtividade.

---

<sup>1</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Fisiologia Vegetal, pesquisadora da Embrapa Café

<sup>2</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, professora da Universidade do Estado de Minas Gerais

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, mestre em Fisiologia, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária

<sup>4</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Cerrados

<sup>5</sup> Engenheiro agrícola, doutor em Engenharia da Irrigação, pesquisador da Embrapa Café

## Morpho-physiological variables and yield in the pre-selection of coffee plants growing in the Cerrado biome of Planalto Central region

**Abstract** – The coffee crop grown in the Cerrado biome areas uses irrigation management with water suspension in the reproductive period aiming at flowering uniformity, obtaining fruits in more uniform maturation stages and coffee quality. This work verified the potential of some morpho-physiological variables in correlating with yield in order to be used in the pre-selection of *Coffea canephora* genotypes that best adapt to the irrigation management used in the Cerrado. The experiment was carried out in the Cerrado region of the Planalto Central to evaluate seven clones of *C. canephora* in 2016. The plants were submitted an irrigation suspension period of 56 days for flowering uniformity. The evaluations were carried out before and at the end of the irrigation suspension period, 2 days and 3 months after the irrigation return. The morpho-physiological variables xylem vessel diameter, phloem thickness, relationship between the polar and equatorial diameter of stomata, potential quantum efficiency of photosystem II, relative water content and leaf area index have potential to be used in the pre-selection of *Coffea canephora* genotypes that best adapt to the irrigation management used in the Cerrado, as they have relationship with the yield variable.

**Index terms:** *Coffea canephora*, water suspension, irrigation management, conilon, physiology, anatomy, yield.

## Introdução

---

No Brasil, a produção de café para a safra de 2020 foi estimada em 47,4 milhões de sacas beneficiadas de café arábica (*Coffea arabica* L.) e em 14,3 milhões de sacas beneficiadas de café canéfora (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) var. conilon (Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Café, 2020). Para esta mesma safra, a produtividade estimada para o cafeeiro arábica foi de 31,27 sacas por hectare e para o cafeeiro conilon, aproximadamente 40 sacas por hectare. No período de uma década, a área cultivada com a espécie *C. canephora* manteve-se praticamente estável, principalmente graças à otimização do manejo da cultura e à utilização de materiais genéticos mais produtivos (Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Café, 2020).

O cultivo do cafeeiro na região do Planalto Central do Brasil, onde predomina o bioma Cerrado, tem sido possibilitado pela integração de práticas agrícolas aliadas às condições climáticas que favorecem a obtenção de alta produtividade e qualidade de grãos (Fernandes et al., 2012). Atualmente, *C. arabica* tem se destacado no cultivo comercial em larga escala dessa região e *C. canephora* está sendo avaliado para possível introdução.

Dentre as práticas utilizadas, o manejo da irrigação na região tem sido proposto por um período de suspensão hídrica de aproximadamente 60 dias durante a estação seca para sincronização da florada e maior rendimento de café no estágio cereja (Guerra et al., 2005). Essa estratégia é respaldada pelo fato de que o déficit hídrico é necessário para uniformizar o estágio de desenvolvimento das gemas reprodutivas, propiciando, após o retorno da irrigação, o rápido aumento na turgescência dos botões florais e a floração.

Alguns trabalhos têm estudado o comportamento do cafeeiro no ambiente do Cerrado (Machado et al., 2017; Brige et al., 2019; Aragão et al., 2020). Considerando que, no manejo da irrigação utilizado no Cerrado, a restrição hídrica imposta pode causar algum prejuízo para a cultura cafeeira, os programas de melhoramento genético têm buscado a identificação de materiais genéticos que melhor se adaptem a essas condições (Brige et al., 2019).

A seleção dos materiais mais promissores é baseada na produção (Ferrão et al., 2008). Para reduzir tempo e custo no programa de melhoramento do



cafeeiro, trabalhos multidisciplinares que aliem características de interesse, como produtividade, a outras características de mais rápido resultado tornam o processo mais eficiente (Ferrão et al., 2007; Machado et al., 2017).

O estudo da correlação simples entre dois caracteres é de grande utilidade no melhoramento, pois permite avaliar a viabilidade prática da seleção indireta, que, em alguns casos, pode levar a progressos mais rápidos que a seleção direta da característica desejada (Cruz et al., 2012; Akperter et al., 2018). Nesse sentido, a identificação de variáveis morfofisiológicas correlacionadas com produtividade pode auxiliar os programas de melhoramento na seleção indireta de materiais superiores para serem conduzidos em determinado ambiente. Dessa forma, verificou-se o potencial de algumas variáveis morfofisiológicas em se correlacionar com a produtividade a fim de serem utilizadas na pré-seleção de genótipos de *C. canephora* que melhor se adaptem ao manejo de irrigação utilizado no Cerrado.

## Material e Métodos

---

O trabalho foi realizado utilizando-se como material vegetal clones de *C. canephora*, variedade botânica Conilon do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da Embrapa Cerrados, localizado em Planaltina, DF, Brasil. O clima da área, de acordo com classificação de Köppen (1948), é do tipo Aw (clima tropical, com inverno seco), e altitude de 1.000 m. A área é plana de Latossolo Vermelho Escuro com textura argilosa; apresenta média anual de precipitação de 1.200 mm, com duas estações típicas de períodos chuvosos e de seca, com temperatura média anual de 22 °C.

Inicialmente, plantas oriundas de sementes de polinização natural de 48 genitores do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) foram obtidas. No ano de 2008, foram introduzidos 3.500 acessos na Embrapa Cerrados, que, posteriormente, passaram por seleção baseada no potencial produtivo, vigor, altura e arquitetura de plantas, resultando na seleção de 13 plantas. No ano de 2012, essas plantas foram enraizadas por estaquia de ramos ortotrópicos e as mudas levadas a campo para plantio com 4 pares de folhas. O plantio foi realizado em linhas por material, utilizando um espaçamento de 3,7 m x 1,0 m em sistema irrigado por pivô central. Para realização do presente estudo, em 2016, dentre os 13 clones

foram selecionados 7 (1, 3, 7, 8, 11, 12 e 13) que se destacaram positivamente nas características de produção, altura e arquitetura da planta nos anos anteriores. Nesse mesmo ano, as plantas passaram por um período de suspensão da irrigação (30 de junho a 25 de agosto) para uniformização da florada (Guerra et al., 2005).

As avaliações foram realizadas antes do período de suspensão da irrigação (APSI), no final do período de suspensão da irrigação (FPSI), 2 dias após o retorno da irrigação (2dARI) e 3 meses após o retorno da irrigação (3mARI). Foram realizadas análises anatômicas e fisiológicas, selecionando-se folhas completamente expandidas, do terceiro ou quarto par, no terço médio dos ramos plagiotrópicos de seis plantas por clone.

Para as análises anatômicas, ressalta-se que o período 2dARI não foi coletado, pois não ocorreram modificações anatômicas quando comparado ao FPSI. As folhas coletadas em APSI foram homólogas às coletadas no FPSI, já que, durante o período de suspensão da irrigação (56 dias), não houve formação de novas folhas. Já a avaliação de 3mARI refere-se a novas folhas formadas após o período de suspensão da irrigação.

Para as análises fisiológicas, além dos períodos supracitados, foi realizada avaliação 2dARI a fim se verificar como ocorre a recuperação das plantas logo após a reidratação. Para avaliação das trocas gasosas, utilizou-se um sistema portátil de fotossíntese (LICOR, EUA), sendo a eficiência instantânea do uso da água (EUA,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ) calculada utilizando-se a razão  $A/E$  (Silva et al., 2010), em que  $A$  corresponde à taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (fotossíntese líquida) e  $E$  à taxa de transpiração. A eficiência quântica potencial do fotossistema II (FvFm) foi determinada com o auxílio do fluorímetro portátil OS5-p (Opti-Sciences, EUA) após 20 minutos de adaptação ao escuro no segmento foliar a ser medido. Essas avaliações foram realizadas no período da manhã entre 9 e 11 horas. O potencial hídrico foliar ( $\Psi$ , MPa) foi medido no período antemanhã, com uma bomba de pressão tipo Scholander (modelo 1515D, PMS Instruments, EUA). Nesse mesmo horário, foram coletadas folhas para realização da análise de estimativa do conteúdo relativo de água (CRA, %) (Bajji et al., 2001).

Para os estudos anatômicos, foram utilizadas secções foliares paradérmicas e transversais. As secções paradérmicas foram obtidas em folhas frescas, recém-coletadas, por meio da impressão da epiderme,

pelo método impressão com adesivo instantâneo universal (éster de cianoacrilato), e, após a captura e processamento das imagens, foi determinada a relação entre o diâmetro polar (DP) e o diâmetro equatorial (DE) dos estômatos (DP/DE). Já para as secções transversais, o fragmento das folhas foi fixado e conservado em etanol 70% (v v<sup>-1</sup>), desidratados em série etílica, incluído em metacrilato e seccionado com 8 µm de espessura, com o auxílio de um micróto mo rotativo. As secções obtidas foram coradas com azul de toluidina e as lâminas foram montadas utilizando-se Entelan® como meio de montagem. Após a captura e processamento das imagens, foram determinados a espessura da cutícula da face adaxial (CUT, µm), o diâmetro dos vasos do xilema (DVX, µm) e a espessura do floema entre o pró-câmbio e o esclerênquima (EFL, µm).

O índice de área foliar (IAF) (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) foi obtido de forma não destrutiva utilizando-se o ceptômetro AccuPAR LP-80 (Decagon Devices, EUA). A barra de sensores foi posicionada abaixo do dossel cobrindo a projeção de três plantas em sequência.

Os dados médios de produtividade (sacas por hectare) foram obtidos de quatro plantas úteis por parcela, com umidade padronizada a 12%, medida em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare (sacas ha<sup>-1</sup>) nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Foi realizada a correlação de Pearson entre as variáveis morfofisiológicas avaliadas e a produtividade média obtida entre os anos de 2014 e 2017. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o aplicativo computacional em genética e estatística experimental Programa Genes (Cruz, 2013). As médias de produtividade e o IAF foram apenas utilizados na análise estatística de correlação.

## Resultados e Discussão

---

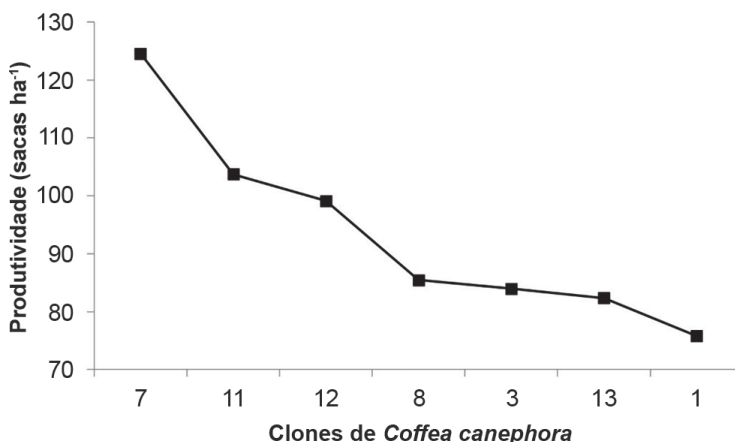
No período que antecede a suspensão da irrigação, as variáveis anatômicas diâmetro dos vasos do xilema (DVX) e relação entre diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE) apresentaram correlação média positiva com produtividade (Tabela 1). De fato, os clones 7, 11 e 12, com maiores valores médios de produtividade (Figura 1), estão no grupo de maior DVX e DP/DE nesse período (Tabela 2). As demais variáveis obtiveram

baixa correlação com produtividade em APSI (Tabela 1). Com exceção do clone 8, os demais clones que obtiveram menor produtividade (1, 13 e 3) apresentaram menores valores de DVX e o clone 1, menor DP/DE (Tabela 2).

**Tabela 1.** Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis morfofisiológicas avaliadas e a produtividade média obtida entre os anos de 2014 e 2017 de clones de *Coffea canephora* em diferentes períodos em relação ao manejo da irrigação utilizado no Cerrado.

Variável	APSI <sup>(1)</sup>	FPSI <sup>(2)</sup>	2dARI <sup>(3)</sup>	3mARI <sup>(4)</sup>
EUA <sup>(5)</sup>	0,056	-0,085	-0,068	-0,151
$\Psi$ <sup>(6)</sup>		-0,145	-0,130	-0,067
CRA <sup>(7)</sup>		0,365	0,788	0,266
FvFm <sup>(8)</sup>		-0,829	0,043	-0,07
CUT <sup>(9)</sup>	-0,230	0,112		-0,311
DVX <sup>(10)</sup>	0,536	0,295		0,443
EFL <sup>(11)</sup>	0,144	0,245		0,299
DP/DE <sup>(12)</sup>	0,560	0,090		0,006
IAF <sup>(13)</sup>	0,366	0,106		0,518

<sup>(1)</sup>APSI = antes do período de suspensão da irrigação; <sup>(2)</sup>FPSI = final do período de suspensão da irrigação; <sup>(3)</sup>2dARI = 2 dias após o retorno da irrigação; <sup>(4)</sup>3mARI = 3 meses após o retorno da irrigação; <sup>(5)</sup>EUA = eficiência do uso da água; <sup>(6)</sup> $\Psi$  = potencial hídrico foliar; <sup>(7)</sup>CRA = conteúdo relativo de água; <sup>(8)</sup>FvFm = eficiência quântica potencial; <sup>(9)</sup>CUT = espessura da cutícula; <sup>(10)</sup>DVX = diâmetro dos vasos do xilema; <sup>(11)</sup>EFL = espessura do floema entre o pró-câmbio e o esclerenquima; <sup>(12)</sup>DP/DE = relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos; e <sup>(13)</sup>IAF = índice de área foliar.



**Figura 1.** Produtividade média (2014–2017) de clones de *Coffea canephora* cultivados no Cerrado.

**Tabela 2.** Eficiência do uso da água (EUA,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ), potencial hídrico foliar ( $\Psi$ , MPa), conteúdo relativo de água (CRA, %), eficiência quântica potencial (FvFm), espessura da cutícula (CUT,  $\mu\text{m}$ ), diâmetro dos vasos do xilema (DVX,  $\mu\text{m}$ ), espessura do floema entre o pró-câmbio e o esclerênquima (EFL,  $\mu\text{m}$ ) e relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos (DP/DE) de clones de *Coffea canephora* em diferentes períodos em relação ao manejo da irrigação utilizado no Cerrado.

Clone	APSI <sup>(1)</sup>							
	EUA	$\Psi$	CRA	FvFm	CUT	DVX	EFL	DP/DE
1	6,63 a	-	-	-	3,04 a	5,00 b	31,83 c	1,23 b
3	5,29 b	-	-	-	2,79 a	6,05 b	39,75 b	1,63 a
7	6,04 a	-	-	-	2,87 a	7,45 a	29,57 c	1,77 a
8	4,48 b	-	-	-	2,83 a	8,78 a	32,24 c	1,75 a
11	5,06 b	-	-	-	2,74 a	8,94 a	50,83 a	1,81 a
12	4,20 b	-	-	-	2,82 a	8,78 a	46,31 a	1,77 a
13	4,65 b	-	-	-	2,76 a	5,19 b	32,24 c	1,77 a
FPSI <sup>(2)</sup>								
1	7,54 a	-3,16 c	48,45 b	0,8076 a	3,42 a	6,39 b	34,23 c	1,60 a
3	5,15 a	-1,37 a	67,20 a	0,8014 a	2,89 a	3,11 c	43,57 b	1,73 a
7	6,22 a	-1,83 a	65,43 a	0,7866 a	3,19 a	6,90 b	34,40 c	1,73 a
8	5,94 a	-1,60 a	59,46 a	0,8018 a	3,10 a	9,09 a	33,27 c	1,66 a
11	4,90 a	-1,47 a	64,31 a	0,7840 a	3,16 a	8,49 a	55,18 a	1,67 a
12	4,99 a	-2,64 b	61,08 a	0,8008 a	3,01 a	8,50 a	59,24 a	1,59 a
13	4,28 a	-1,29 a	69,25 a	0,7989 a	2,84 a	6,23 b	34,59 c	1,80 a
2dARI <sup>(3)</sup>								
1	3,85 a	-0,74 a	76,75 a	0,7839 a	-	-	-	-
3	2,39 b	-0,71 a	74,31 a	0,8110 a	-	-	-	-
7	2,75 b	-0,71 a	81,06 a	0,8049 a	-	-	-	-
8	2,27 b	-0,60 a	75,73 a	0,7825 a	-	-	-	-
11	2,64 b	-0,71 a	77,91 a	0,7939 a	-	-	-	-
12	2,56 b	-0,65 a	77,25 a	0,7406 b	-	-	-	-
13	1,85 b	-0,77 a	77,89 a	0,7984 a	-	-	-	-

Continua...

**Tabela 2.** Continuação.

Clone	APSI <sup>(1)</sup>							
	EUA	Ψ	CRA	FvFm	CUT	DVX	EFL	DP/DE
3mARI <sup>(4)</sup>								
1	3,88 b	-0,24 a	79,61 b	0,8010 a	3,21 a	7,64 b	33,77 b	1,70 a
3	4,55 a	-0,21 a	77,82 b	0,7807 b	2,79 b	2,65 c	43,19 a	1,86 a
7	3,70 b	-0,21 a	85,58 a	0,7708 b	2,79 b	8,82 a	35,92 b	1,84 a
8	5,00 a	-0,21 a	68,46 c	0,7737 b	2,91 b	8,74 a	33,58 b	1,81 a
11	3,76 b	-0,22 a	69,44 c	0,8032 a	2,79 b	8,48 a	46,75 a	1,61 a
12	3,18 b	-0,19 a	75,20 b	0,7957 a	2,82 b	8,59 a	50,03 a	1,70 a
13	2,61 b	-0,17 a	79,80 b	0,7640 b	2,59 b	6,79 b	32,37 b	1,78 a

<sup>(1)</sup>APSI = antes do período de suspensão da irrigação; <sup>(2)</sup>FPSI = final do período de suspensão da irrigação;

<sup>(3)</sup>2dARI = 2 dias após o retorno da irrigação e <sup>(4)</sup>3mARI = 3 meses após o retorno da irrigação.

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

O diâmetro de vasos do xilema é uma variável utilizada em modelos representativos da condutividade hidráulica das plantas e sua vulnerabilidade à cavitação (Olson et al., 2020). Plantas com maior diâmetro dos vasos do xilema em condições hídricas adequadas, como é o caso do presente trabalho na avaliação antes do período de suspensão da irrigação (APSI), são caracterizadas por ter alto desempenho hidráulico (Chagas et al., 2018). No presente trabalho, esse fato é confirmado pela correlação positiva com produtividade.

O formato mais elíptico dos estômatos indica sua maior funcionalidade, ou seja, a menor área de abertura estomática, obtida pelo maior valor da razão DP/DE, é considerada um mecanismo adotado pelas plantas para manter alta taxa fotossintética e reduzida perda de água via transpiração estomática (Grisi et al., 2008; Souza et al., 2010; Costa et al., 2018).

O clone 11 (segundo maior em produtividade) se destacou no índice de área foliar (IAF) em APSI e obteve o valor médio mais baixo de espessura da cutícula (Figuras 1 e 2 e Tabela 2). Com exceção do clone 7, os demais clones mais produtivos (11 e 12) apresentaram maiores médias de espessura do floema (EFL) (Tabela 2). O maior espessamento do floema permite uma maior translocação de fotossintatos, que são importantes para a manutenção do crescimento da planta e desenvolvimento dos frutos (Pereira et al., 2008; Batista et al., 2012; Queiroz-Voltan et al., 2014).

Os valores médios de eficiência instantânea do uso da água (EUA) foram superiores para os clones 1 e 7 em comparação aos demais no período APSI (Tabela 2). Após os 56 dias de suspensão da irrigação (FPSI), os clones mantiveram valores semelhantes de EUA entre si. Logo após o retorno da irrigação (2dARI), todos os clones reduziram os valores médios de EUA em comparação ao FPSI, sendo que o clone 1 obteve o maior valor médio entre os demais clones. No entanto, ao se considerar a EUA após 3 meses do retorno da irrigação (3mARI), os clones 3 e 8 apresentaram os maiores valores médios.

Plantas que produzem mais matéria seca por unidade de água transpirada possuem maior eficiência no uso da água (Ramalho et al., 2013). Essas plantas apresentam um mecanismo de absorver CO<sub>2</sub> suficiente para fotossíntese ao mesmo tempo que moderam a perda de água pela transpiração (Reis et al., 2018). No presente trabalho, independentemente da época avaliada, não houve correlação dessa variável com a produtividade de grãos.

No final do período de suspensão da irrigação (FPSI), foi observada correlação negativa forte (-0,83) entre a eficiência quântica potencial (FvFm) e a produtividade (Tabela 1), ou seja, clones com maior valor médio de FvFm em FPSI foram aqueles que apresentaram menor produtividade média entre os anos de 2014 e 2017.

Eficiência quântica potencial do fotossistema II representa a capacidade que as plantas têm de absorver energia em fótons para ser utilizada na fotoquímica, além de indicar o nível de estresse sofrido pelas plantas (Woo et al., 2008; Yan et al., 2015). Valores de FvFm próximos de 0,80 caracterizam plantas em situações não estressantes, sendo que leves declínios (0,70–0,75) podem indicar alguma situação de estresse (Woo et al., 2008).

Plantas com altos valores de EUA e baixos valores de FvFm (abaixo de 0.75) apresentam grande potencial de se adaptarem a condições com baixo conteúdo de água no solo (Yan et al., 2015). Apesar da alta correlação negativa observada entre FvFm e produtividade, os valores reduzidos dessa variável nos clones mais produtivos devem ser melhor investigados.

As folhas coletadas em FPSI foram homólogas às coletadas em APSI, pois, durante o período de suspensão da irrigação, não são formadas novas folhas. Mesmo assim, algumas modificações anatômicas foram

observadas em alguns clones (Tabela 1). Foi observada redução de DVX em aproximadamente 50% para o clone 3, aumento de aproximadamente 30% de DVX e DP/DE para o clone 1 e de EFL para o clone 12 em FPSI em comparação ao APSI. Redução de DVX e aumento de EFL são estratégias das plantas para otimizar a distribuição de água e nutrientes e evitar a cavitação, que é a formação de bolhas de ar que bloqueiam o movimento contínuo de água, provocando embolias (Queiroz-Voltan et al., 2014; Hacke et al., 2017). Já aumento de DVX e de DP/DE pode propiciar cavitação e aumento de perda de água por transpiração (Hacke et al., 2017; Costa et al., 2018). Os clones 1 e 12 obtiveram os menores valores de potencial hídrico foliar em FPSI (Tabela 2).

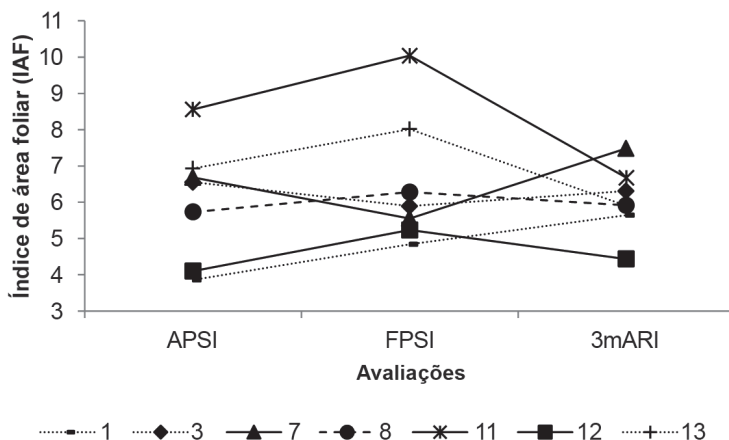
Na avaliação de 2 dias após o retorno da irrigação (2dARI), foi possível observar recuperação hídrica de todos os clones estudados, com altos valores de potencial hídrico foliar ( $\Psi$ ) e conteúdo relativo de água (CRA) (Tabela 2). Nesse período, foi observada correlação positiva forte (0,79) entre CRA e produtividade (Tabela 1). O clone 7 (maior valor médio de produtividade) apresentou maior valor médio de CRA aos 2dARI.

Espera-se que, com o aumento da disponibilidade hídrica no solo, ocorra um aumento gradual no CRA nas plantas. Esse aumento ocorreu de maneira diferenciada entre os clones estudados aos 2 dias após o retorno da irrigação, sendo que o clone mais produtivo apresentou maior valor médio dessa variável nessa avaliação. Interessante observar que o clone 1 – menor valor médio de produtividade –, apesar de ter se recuperado bem em termos hídricos aos 2dARI, apresentou baixos valores de  $\Psi$  e CRA no FPSI em comparação aos demais (Tabela 2).

Aos 3mARI foi observada correlação média positiva entre índice de área foliar (IAF) e produtividade (Tabela 1), ou seja, clones com maiores valores médios de IAF apresentaram maior produtividade. Nesse período, todos os clones apresentaram altos valores de  $\Psi$  (aproximadamente -0,20 MPa). Já o clone 7 manteve a superioridade dos valores médios de CRA em relação aos demais clones. Interessante observar que nesse período de avaliação o clone 7, junto com os demais clones mais produtivos (11 e 12), apresentaram os maiores valores médios de DVX, sendo que estes estavam no grupo de maior EFL. Já o clone 1 (menor produtividade) apresentou maior valor de CUT e menores valores de DVX e EFL quando comparado aos demais clones mais produtivos, principalmente 11 e 12.



O índice de área foliar se manteve baixo em todas as épocas avaliadas para os clones 1 e 12 (Figura 2). Já o clone 7 obteve boa recuperação no índice de área foliar aos 3mARI, enquanto os clones 11 e 13, que apresentaram os maiores valores médios de IAF em APSI e FPSI, diminuíram seus valores e se igualaram aos demais aos 3mARI.



**Figura 2.** Valores médios do índice de área foliar (IAF) de clones de *Coffea canephora* antes do período de suspensão da irrigação (APSI), no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) e 3 meses após o retorno da irrigação (3mARI).

O maior índice de área foliar observado nas plantas aos 3mARI se correlacionou positivamente com a produtividade, indicando que plantas com maior IAF após passar por um período de deficiência hídrica possivelmente otimizam o processo fotossintético, aumentando os fluxos de água, carbono e energia, que resultam em maior produtividade (Favarin et al., 2002; Barbosa et al., 2012).

Dentre as variáveis estudadas, a importância de cada uma em se correlacionar com produtividade variou em função do período avaliado. Visando auxiliar o programa de melhoramento do cafeeiro na pré-seleção de plantas mais adaptadas ao sistema de manejo de irrigação utilizado no Cerrado, as variáveis analisadas que mais se correlacionaram com a produtividade média obtida entre os anos de 2014 e 2017 foram diâmetro dos vasos do xilema e relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos no período APSI, eficiência quântica potencial em FPSI, conteúdo relativo de água aos 2dARI e índice de área foliar aos 3mARI.

## Conclusões

---

As variáveis morfofisiológicas: diâmetro dos vasos do xilema (DVX), espessura do floema (EFL), relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DP/DE), eficiência quântica potencial do fotossistema II (FvFm), conteúdo relativo de água (CRA) e índice de área foliar (IAF) apresentam potencial de serem utilizadas na pré-seleção de genótipos de *Coffea canephora* que melhor se adaptem ao manejo de irrigação utilizado no Cerrado, por possuírem relação com a variável produtividade.

## Agradecimentos

---

Ao Consórcio Pesquisa Café, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCTCafé), ao Departamento de Agricultura, Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras (Ufla) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pelo apoio financeiro e institucional.

## Referências

---

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] CAFÉ: **safra 2020**: terceiro levantamento, v. 6, n. 3, set. 2020. 54 p. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe/item/download/33315\\_25cecd701f64485618ddb18944982bd5](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe/item/download/33315_25cecd701f64485618ddb18944982bd5). Acesso em: 21 out. 2021.

AKPERTEY, A.; ANIM-KWAPONG, E.; OFORI, A. P. Genetic variation among Robusta coffee genotypes for growth and yield traits in Ghana. **The Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 4, p. 138, 2018. DOI <https://doi.org/10.5539/jas.v10n4p138>.

ARAGÃO, O. O. da S.; OLIVEIRA-LONGATTI, S. M. de; CAPUTO, P. S. de C.; RUFINI, M.; CARVALHO, G. R.; CARVALHO, T. S. de; MOREIRA, F. M. de. Microbiological indicators of soil quality are related to greater coffee yield in the Brazilian Cerrado region. **Ecological Indicators**, v. 113, n. 106205, June 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106205>.

BAJJI, M.; LUTTS, S.; KINET, J.-M. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. **Plant Science**, v. 160, n. 4, p. 669-681, Mar. 2001. DOI [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00443-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00443-X).

BARBOSA, J. P. R. A. D.; MARTINS, G. A.; FERREIRA, R. T.; PENNACCHI, J. P.; SOUZA, V. F. de; SOARES, A. M. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. **Coffee Science**, v. 7, n. 3, p. 267-274, set./dez. 2012. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/368>. Acesso em: 21 out. 2021.

- BATISTA, K. D.; ARAÚJO, W. L.; ANTUNES, W. C.; CAVATTE, P. C.; MORAES, G. A. B. K.; MARTINS, S. C. V.; DAMATTA, F. M. Photosynthetic limitations in coffee plants are chiefly governed by diffusive factors. **Trees**, v. 26, n. 2, p. 459-468, 2012. DOI <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0606-2>.
- BRIGE, F. A. A.; CELESTINO, S. M. C.; AMABILE, R. F.; FAGIOLI, M.; DELVICO, F. M. dos S.; MONTALVAO, A. P. L.; SALA, P. I. A. L. Genetic variability in conilon coffee related to grain attributes in an irrigated crop in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e00358, 2019. DOI <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00358>.
- CHAGAS, M. das G. S. das; MENDONÇA PIMENTEL, R. M. de; SILVA, L. H. G. da. Hydraulic and leaf economics of woody plants of the tropical environment. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 3, p. 826-834, 2018. DOI <https://doi.org/10.26848/rbfg.v11.3.p826-834>.
- COSTA, B. N. S.; COSTA, I. de J. S.; DIAS, G. de M. G.; ASSIS, F. A. de; PIO, L. A. S.; SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M. Morpho-anatomical and physiological alterations of passion fruit fertilized with silicon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 2, p. 163-171, Feb. 2018. DOI <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000200004>.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 514 p.
- CRUZ, C. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum: agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, July/Sept. 2013. DOI <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- FAVARIN, J. L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA Y GARCÍA, A.; VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, M. da G. V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000600005>.
- FERNANDES, A. L. T.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012. DOI <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200015>.
- FERRÃO, R. G.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, A.; CECON, P. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da; CARNEIRO, P. C. de S.; SILVA, M. F. da. Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 61-69, Jan. 2008. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000100009>.
- FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da; PACOVA, B. E. V. Melhoramento genético de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (ed.). **Café Conilon**. Vitória: Incaper, 2007. p. 120-173.
- GRISI, F. A.; ALVES, J. D.; CASTRO, E. M. de; OLIVEIRA, C. de; BIAGIOTTI, G.; MELO, L. A. de. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'catuai' e 'siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, dez. 2008. DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000600008>.
- GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C.; SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, J. B. R.; SILVA, H. C.; ARAÚJO, M. C. de. **Irrigação do cafeeiro no cerrado**: estratégia de manejo de água para uniformização de florada. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 4 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 122).
- HACKE, U. G.; SPICER, R.; SCHREIBER, S. G.; PLAVCOVÁ, L. An ecophysiological and developmental perspective on variation in vessel diameter. **Plant, Cell & Environment**, v. 40, n. 6, p. 831-845, 2017. DOI <https://doi.org/10.1111/pce.12777>.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 479 p.

MACHADO, C. M. S.; PIMENTEL, N. S.; GOLYNSK, A.; FERREIRA, A.; VIEIRA, H. D.; PARTELLI, F. L. Genetic diversity among 16 genotypes of *Coffea arabica* in the Brazilian cerrado. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, Oct. 2017. DOI <https://doi.org/10.4238/gmr16039794>.

OLSON, M.; ROSELL, J.; MARTÍNEZ-PÉREZ, C.; LEÓN-GÓMEZ, C.; FAJARDO, A.; ISNARD, S.; CERVANTES-ALCAYDE, M. A.; ECHEVERRÍA, A.; FIGUEROA-ABUNDIZ, V.; SEGOVIA-RIVAS, A.; TRUEBA, S.; VÁZQUEZ-SEGOVIA, K. Xylem vessel-diameter-shoot-length scaling: ecological significance of porosity types and other traits. **Ecological Monographs**, v. 90, n. 3, e01410, Aug. 2020. DOI <https://doi.org/10.1002/ecm.1410>.

PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M. de; SOUZA, T. C. de; MAGALHÃES, P. C. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1649-1656, Dez. 2008. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008001200002>.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NARDIN, C. F.; FAZUOLI, L. C.; BRAGHINI, M. T. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Biotemas**, v. 27, n. 4, p. 1-10, 2014. DOI <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2014v27n4p1>.

RAMALHO, J. C.; RODRIGUES, A. P.; SEMEDO, J. N.; PAIS, I. P.; MARTINS, L. D.; SIMÕES-COSTA, M. C.; LEITÃO, A. E.; FORTUNATO, A. S.; BATISTA-SANTOS, P.; PALOS, I. M.; TOMAZ, M. A.; SCOTTI-CAMPOS, P.; LIDON, F. C.; DAMATTA, F. M. Sustained photosynthetic performance of *Coffea* spp. under long-term enhanced [CO<sub>2</sub>]. **PLoS ONE**, v. 8, n. 12, e82712, 2013. DOI <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082712>.

REIS, E. A. C.; FREITAS, T.; CARVALHO, M. A. de F.; MENDES, A. N. G.; REZENDE, T. T.; CARVALHO, J. P. F. Characterization of coffee cultivars leaf rust-resistant subjected to framework pruning. **Coffee Science**, v. 13, n. 1, p. 63-70, Jan./Mar. 2018. DOI <https://doi.org/10.25186/cs.v13i1.1376>.

SILVA, V. A.; ANTUNES, W. C.; GUIMARAES, B. L. S.; PAIVA, R. M. C.; SILVA, V. de F.; FERRAO, M. A. G.; DAMATTA, F. M.; LOUREIRO, M. E. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 457-464, maio 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000500004>.

SOUZA, T. C. de; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M. de; SILVA JUNIOR, J. M. da; PARENTONI, S. N. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 16-24, Jan. 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000100003>.

WOO, N. S.; BADGER, M. R.; POGSON, B. J. A rapid, non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence. **Plant Methods**, v. 4, p. 27-27, Nov. 2008. DOI <https://doi.org/10.1186/1746-4811-4-27>.

YAN, J.; ZHU, C.; LIU, W.; LUO, F.; MI, J.; REN, Y.; LI, J.; SANG, T. High photosynthetic rate and water use efficiency of *Miscanthus lutarioriparius* characterize an energy crop in the semiarid temperate region. **GCB Bioenergy**, v. 7, n. 2, p. 207-218, 2015. DOI <https://doi.org/10.1111/gcbb.12118>.

**Embrapa**

---

**Café**



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO

