

CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE CAFÉ ARABICA QUANTO À TOLERANCIA À SECA EM MINAS GERAIS¹

Vânia Aparecida Silva²; Jacqueline de Oliveira Santos³, Meline de Oliveira Santos⁴; Helbert Rezende de Oliveira Silveira⁵; Vinícius Alves Pereira⁶; Janaine Lopes Machado⁷; Margarete Marin Lordelo Volpato⁸; Antônio Nazareno Guimarães Mendes⁹; Rubens José Guimarães¹⁰; Gladyston Rodrigues Carvalho¹¹

¹Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café

²Pesquisadora, DSc, EPAMIG/URESM, Bolsista BIPDT- FAPEMIG, Lavras- MG, vania.silva@epamig.ufla.br

³Bolsista Consórcio Pesquisa Café DSc, EPAMIG SUL, Lavras- MG, jack_oliver3@hotmail.com

⁴Bolsista Consórcio Pesquisa Café DSc, EPAMIG SUL, Lavras- MG, helbert_rezende@yahoo.com.br

⁵Bolsista Consórcio Pesquisa Café, DSc, EPAMIG SUL, Lavras- MG, melineoli@hotmail.com

⁶Doutorando UFLA, Lavras- MG, viniciusalves111@hotmail.com

⁷Doutoranda UFLA, Lavras- MG, janainelm@yahoo.com.br

⁸Pesquisadora, DSc, EPAMIG/URESM, Bolsista BIPDT- FAPEMIG, Lavras- MG, margarete@epamig.ufla.br

⁹Professor, DSc., UFLA, Lavras, naza@dag.ufla.br.

¹⁰Professor, DSc., UFLA, Lavras, rubensjg@dag.ufla.br

¹¹Pesquisador, D.Sc., EPAMIG/URESM, Lavras-MG, carvalho@epamig.ufla.br

RESUMO: A caracterização ecofisiológica do cafeeiro em ambientes com restrição hídrica pode auxiliar o programa de melhoramento no desenvolvimento de cultivares tolerantes à seca. O objetivo foi realizar a fenotipagem fisiológica de 10 genótipos de café arábica quanto à tolerância à seca em condições de deficiência hídrica no campo. Os genótipos foram avaliados em sistema sequeiro (imposição do déficit hídrico a partir de 24 meses de idade) e sistema irrigado (plantas continuamente irrigadas com sistema de gotejamento). Aos 13 meses após a imposição do déficit hídrico, foram realizadas avaliações de crescimento, fisiológicas e produtividade. Os dados foram submetidos às análises multivariadas canônicas. Destacando-se as avaliações realizadas nos genótipos em sequeiro, os genótipos 7, 9, 12 e 19 apresentaram maior produtividade correlacionada com maiores condutância estomática e taxa fotossintética líquida, indicando maior tolerância ao déficit hídrico. Os genótipos 7, 9, 12 e 19 foram considerados como mais promissores para o prosseguimento do Programa de Melhoramento do cafeeiro com vistas à seleção para tolerância à seca.

PALAVRAS-CHAVE: análise multivariada, tolerância ao déficit hídrico, trocas gasosas, rendimento

PHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF *Coffea arabica* GENOTYPES RELATED TO DROUGHT TOLERANCE IN MINAS GERAIS

ABSTRACT: The ecophysiological characterization of coffee in environments with water restriction may help the breeding program in the development of drought-tolerant cultivars. The objective was to carry out the physiological phenotyping of 10 arabica coffee genotypes for drought tolerance under field water deficiency conditions. The genotypes were evaluated in a dryland system (imposition of water deficit from 24 months of age) and irrigated system (plants continuously irrigated with a drip system). At 13 months after the imposition of the water deficit, growth, physiological and productivity evaluations were performed. Data were submitted to canonical multivariate analysis. The genotypes 7, 9, 12 and 19 showed higher productivity correlated with higher stomatal conductance and liquid photosynthetic rate, indicating a higher tolerance to the water deficit. Genotypes 7, 9, 12 and 19 were considered to be more promising for the continuation of the Coffee Breeding Program for selection for drought tolerance.

KEY WORDS: multivariate analysis, tolerance to water deficit, gas exchange, yield.

INTRODUÇÃO

No agronegócio brasileiro, o café assume posição de destaque, gerando empregos em toda sua cadeia produtiva, além de ter importante função social na agricultura familiar. No entanto, na maioria das áreas aráveis, os cafeeiros são frequentemente expostos a vários tipos de estresses ambientais durante seu ciclo de vida, como seca ou chuvas irregulares (Nakabayashi and Saito, 2015). Entre os fatores ambientais que afetam negativamente o crescimento e a produtividade do cafeeiro, o déficit hídrico é particularmente importante por causa de seus efeitos deletérios e sua ocorrência é frequente em áreas de cultivo e em áreas não tradicionais de cultivo de café (Batista et al., 2010).

As respostas ao déficit hídrico do cafeeiro envolvem uma complexa rede de respostas fisiológicas e morfológicas. Entretanto, a ecofisiologia pode ser explorada em programas de melhoramento para tolerância a estresses abióticos, pois determinam as relações hídricas, a eficiência fotossintética e, portanto, a produtividade dos genótipos em resposta à seca (Silva et al., 2018). Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo realizar a fenotipagem fisiológica de 10 genótipos de café arábica quanto à tolerância à seca em condições de deficiência hídrica no campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O Experimento foi realizado em propriedade particular, localizada em Couto de Magalhães de Minas, localizada na região norte de Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são latitude 18° 04' 17" S, longitude 43° 28' 16" W e altitude de 726m. A classificação climática para a região é Aw, ou seja, apresenta clima tropical com estação seca de Inverno. Foram analisados dez genótipos, sendo os genótipos: Genótipo 1 (Catiguá MG3), Genótipos 2, 3, 4, 5 a 6 (progênies do grupo Paraíso), Genótipo 7, 8 e 9 (progênies do grupo Araponga) e Genótipo 10 (progênie do grupo Pau-Brasil). Esses genótipos

foram plantados em área experimental com sistema de irrigação feito por gotejamento, no espaçamento de 3,8 x 0,8 m sendo os gotejadores de 2,3 l/h de vazão, espaçados a cada 75 cm. Os tubos gotejadores foram abastecidos por um tubo de PVC de 75mm utilizando água fornecida por reservatório local. A vazão do emissor foi de 2,30l/h/m², ou seja, 2,3 mm/h e tempo de irrigação foi de aproximadamente de duas horas/dia. A irrigação foi feita de modo a repor a evapotranspiração da cultura fornecida por estação automática local.

Todo experimento foi mantido em sistema irrigado até os 24 meses após o plantio, quando foi dividido em sistemas de cultivo sequeiro e irrigado. No sistema irrigado, as plantas continuaram a serem irrigadas com sistema de gotejamento. No sistema sequeiro as mangueiras de irrigação foram desconectadas nas faixas correspondentes para imposição do déficit hídrico. As avaliações ecofisiológicas foram realizadas aos treze meses após a imposição do déficit hídrico. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com parcelas subdivididas em faixas, constituídos de 10 genótipos, dois sistemas de irrigação, 4 blocos e 6 plantas por parcela.

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi determinado em folhas utilizando uma bomba de pressão (PMS Instruments- Plant Moisture- Modelo 1000 de acordo com Scholander et al. (1964). Todas as medidas foram feitas em folhas completamente expandidas de ramos plagiotrópicos do terço mediano das plantas, sempre na antemãnhã (entre 04h30min e 05h30min), afim, de evitar os efeitos inibitórios da luminosidade e da temperatura sobre o potencial hídrico.

A medição de crescimento foi realizada em plantas aos 12 meses após a implantação do experimento com sistema irrigado e sequeiro. Os genótipos foram analisados quanto aos parâmetros biométricos: diâmetro do caule (DC, cm), altura da planta (AP, m) e comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CPRP, m).

Os parâmetros de produtividade foram avaliados na segunda colheita realizada 15 meses após a indução dos tratamentos (sistema sequeiro e irrigado). A produtividade (sacas. ha⁻¹) foi estimada pela produção de frutos, em litros de “café da roça” por parcela, em seguida converteu-se para saca (60kg) de café beneficiado. ha⁻¹. Esta conversão consiste em considerar um rendimento médio determinado pela relação entre café beneficiado e “café da roça” e em café em coco para os diferentes tratamentos. Para essa determinação foi coletada uma amostra de 3 litros do “café da roça” produzido em cada parcela. As amostras foram secas até a umidade de 1-12% e, em seguida, beneficiadas para determinação do rendimento. Os grãos de café produzidos pelos genótipos dos diferentes tratamentos foram analisadas quanto ao tamanho, pelo auxílio de um conjunto de peneiras, segundo a Instrução Normativa N° 08 (BRASIL, 2003). Foi determinada, também, a porcentagem de frutos chochos, segundo metodologia proposta por Antunes Filho e Carvalho (2010).

As trocas gasosas foram medidas utilizando-se o analisador de gás portátil infravermelho (IRGA – LI6400XT Portable Photosynthesis System, LI-COR, Lincon, USA) em folhas completamente expandidas, no 3° ou 4° pares de folhas a partir

do ápice de ramos plagiotrópicos do terço mediano das plantas. As avaliações realizadas foram: taxa fotossintética líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), condutância estomática ($g_s - \text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), concentração de carbono intercelular ($C_i - \mu\text{mol CO}_2$), concentração intercelular de CO_2 no mesófilo e a concentração de CO_2 externa atual ($C_i/C_a - \mu\text{mol CO}_2$) e transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). A eficiência do uso da água instantânea (EUA) foi obtida pelas relações A/E , respectivamente. Todas as avaliações foram realizadas em dias claros, entre 09h00min e 10h00min (horário solar) com utilização de fonte artificial de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em câmara fechada fixada em 1500 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Blue + Red LED LI-6400-02B, LI-COR, Lincoln, USA). A taxa de assimilação de CO_2 na câmara foi medida com a concentração ambiente de CO_2 . Nas mesmas folhas em que foram feitas as análises de trocas gasosas, determinou-se, com o auxílio de um fluorômetro portátil MINI-PAM (Walz Inc.) a curva de resposta ao fluxo de fótons fotossintéticos (FFF), com aplicação de oito pulsos crescentes de intensidade de radiação, obtendo-se valores de fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_M), fluorescência variável (F_V) e eficiência fotoquímica aparente do fotossistema II (F_v/F_M)(Yield curva). A partir destes valores foram calculados o quenching fotoquímico (q_P), quenching não fotoquímico (q_N), o coeficiente de extinção não fotoquímico (NPQ) e a taxa relativa de transporte de elétrons (ETR). O valor de eficiência fotoquímica potencial do PSII (F_v/F_M) (Yield F_0/F_M) foi determinado no período noturno, entre 19:00 e 20:00 horas.

Os dados fitotécnicos (crescimento e produção) e fisiológicos obtidos foram analisados através de Análise de Variáveis Canônica (Can) pelo programa R (R core team, 2019), utilizando o pacote Candisc (Friendly and Fox, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise dos scores das duas primeiras variáveis canônicas (Can 1 e Can 2) dos parâmetros fitotécnicos e ecofisiológicos nos diferentes genótipos verificou-se que na Can 1 as principais variáveis (scores acima de 0,39 %)

8 a 11 de outubro de 2019, Vitória – ES
 foram fluorescência máxima (Fm), peneira 15 (P15), a produtividade (sc.ha-1), a taxa fotossintética (A), a condutância estomática (gs), enquanto que na Can2 destaca-se a taxa fotossintética (A) (Tabela1; Figura 1A). Nas análises

canônicas, a variância total explicada pelas duas primeiras variáveis canônicas foi de 68,20%, sendo 46,50% de variância acumulada na primeira canônica e 21,70%, pela segunda canônica (Figura 1). Em condições de irrigação, observou-se que o genótipo 9 foi alocado à esquerda, apresentando maior correlação com a peneira 15 (P15), enquanto os genótipos 4, 20 e 23 apresentaram maior correlação com a fluorescência máxima (Fm) (Figura 1A e 1B). Já os genótipos 7 e 5 apresentaram alta correlação positiva com a taxa fotossintética (A). Quando os genótipos foram submetidos à condição de sequeiro, a canônica 1 separou os genótipos 7, 9, 12 e 19 com maiores produtividades correlacionadas positivamente com maiores taxa fotossintética e condutância estomática.

O genótipo 9 continuou apresentando maior correlação com peneira 15 (P15) e os genótipos 4, 20 e 23 apresentaram maior fluorescência máxima (Fm) (Figura 1C e 1D). Em sequeiro, a Can 2 destacou o genótipo 7, entre os genótipos com maiores taxas fotossintéticas.

Tabela 1. Matriz de correlação das duas primeiras variáveis canônicas, Can1 e Can2 das características: potencial hídrico (Mpa), produtividade (sc-ha), diâmetro do caule (Dcaule), altura de plantas (Alt), rendimento (rend), percentagem de grãos com peneira acima de 16 (P16a), percentagem de grãos com peneira 15 (P15), percentagem de frutos chochos (chochos), taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), concentração de carbono intercelular (Ci - $\mu\text{mol CO}_2$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), relação entre concentração intercelular de CO_2 no mesófilo e a concentração de CO_2 externa atual (Ci/Ca - $\mu\text{mol CO}_2$), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação (A_Ci), fluorescência inicial (F), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (f0_fm), rendimento quântico do fotossistema II (PSII), taxa relativa de transporte de elétrons (ETR), quenching fotoquímico (qP), quenching não fotoquímico (qN) e o coeficiente de extinção não fotoquímico (NPQ) nos diferentes genótipos irrigados ou em condição de sequeiro.

Características fisiológicas	Abril	
	Can 1	Can 2
Mpa	0.078681	-0.35098
sc_ha	-0.54836	0.072442
Dcaule	0.003125	-0.00763
Alt	-0.3536	-0.11751
Dcopa	0.172633	-0.16854
rend	-0.27299	-0.39429
P16a	0.503326	-0.15778
P15	-0.6718	0.437249
chocho	-0.04421	-0.21397
A	-0.39347	-0.51952
gs	-0.42235	-0.40655
Ci	-0.25837	-0.33577
E	-0.17811	-0.35442
Ci_Ca	-0.2668	-0.34962
EUA	0.04873	-0.16474
A_Ci	-0.20025	-0.1419
F	0.009372	0.157052
Fm	0.830906	0.248251
fo_fm	0.025219	-0.1481
PSII	-0.16498	0.091774
ETR	-0.31211	0.02903
qP	-0.1233	-0.0226
qN	0.078663	0.043979
NPQ	0.114273	0.150396

Os genótipos de *Coffea arabica* avaliados apresentaram diferenças entre as características fisiológicas entre os sistemas irrigado e sequeiro, indicando diferentes estratégias de adaptação ao déficit hídrico. Estudos recentes atestam que genótipos de café podem se comportar de maneira distintas em função da condição biótica e abiótica do ambiente. Para tanto, podem se adaptar por meio de estruturas anatômicas e fisiológicas (Batista et al., 2010; Castanheira et al., 2016).

No presente trabalho, observaram-se diferenças entre os genótipos avaliados quanto às características fisiológicas e produtivas. Os genótipos 4, 20 e 23 apresentaram maior correlação à Fm (Figura 1B e 1D) em condições irrigadas e em

sequeiro. Esse comportamento indica que esses genótipos podem ser sensíveis a alterações no ambiente relacionados com a eficiência energética. Em condição de sequeiro o decréscimo prolongado da água disponível no solo pode culminar em danos irreversíveis aos tecidos foliares (Bhargava and Sawant, 2013). As restrições estomáticas no suprimento de CO₂, pela falta de água, podem provocar limitações em componentes não estomáticos, com danos nos centros de reação do fotossistema II podendo impactar negativamente na estabilidade energética desses genótipos (Salvador, 2013).

Esses resultados indicam que o fotossistema II foi o principal sítio afetado pelo estresse causado por déficit hídrico. Em condições de sequeiro, os genótipos 7, 9, 12 e 19 destacaram-se por apresentarem maior produtividade correlacionada com maiores condutância estomática e taxa fotossintética líquida, indicando maior tolerância ao déficit hídrico.

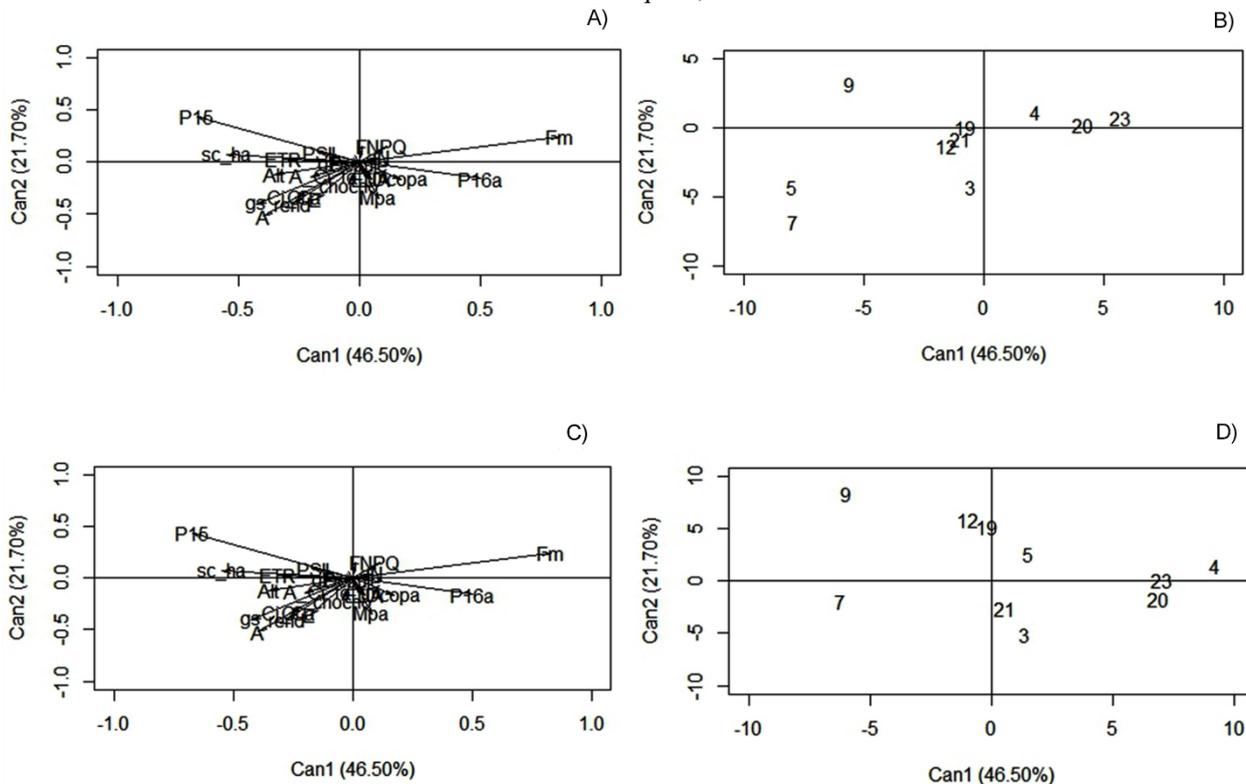


Figura 1: Correlação das variáveis e segregação dos 10 genótipos de *Coffea arabica* L em condições de irrigação (A, B) e sequeiro (C, D) aos treze meses após implantação dos sistemas. Variáveis: potencial hídrico (Mpa), produtividade (sc-ha), diâmetro do caule (Dcaule), altura de plantas (Alt), rendimento (rend), percentagem de grãos com peneira acima de 16 (P16a), percentagem de grãos com peneira 15 (P15), percentagem de frutos chochos (chochos), taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), concentração de carbono intercelular (Ci - $\mu\text{mol CO}_2$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), relação entre concentração intercelular de CO₂ no mesofilo e a concentração de CO₂ externa atual (Ci/Ca - $\mu\text{mol CO}_2$), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação (A_Ci), fluorescência inicial (F), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (f0_fm), rendimento quântico do fotossistema II (PSII), taxa relativa de transporte de elétrons (ETR), quenching fotoquímico (qP), quenching não fotoquímico (qN) e o coeficiente de extinção não fotoquímico (NPQ) nos diferentes genótipos irrigados ou em condição de sequeiro.

CONCLUSÕES

1 - As análises ecofisiológicas aos treze meses após a imposição do déficit hídrico destacaram os genótipos 7, 9, 12 e 19 como promissores para o prosseguimento do Programa de Melhoramento do cafeeiro com vistas à seleção para tolerância à seca.

AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café - INCT/Café e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fazenda Sagarana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes Filho, H., Carvalho, A., 2010. Melhoramento do cafeeiro: VII - Ocorrência de lojas vazias em frutos de café “mundo novo.” *Bragantia*. <https://doi.org/10.1590/s0006-87051954000100014>
- Batista, L.A., Guimarães, R.J., Pereira, F.J., Carvalho, G.R., Castro, E.M. de, 2010. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. *Rev. Ciência Agronômica*. <https://doi.org/10.1590/s1806-66902010000300022>
- Bhargava, S., Sawant, K., 2013. Drought stress adaptation: Metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breed*. 132, 21–32. <https://doi.org/10.1111/pbr.12004>
- Castanheira, D., Castanheira, D.T., Rezende, T.T., Baliza, D.P., Guedes, J.M., Carvalho, S.P. de, Guimarães, R.J., Viana, M.T.R., 2016. Potential use of anatomical and physiological characteristics in the selection of coffee progênies. *Coffee Sci*. 11, 374–385. <https://doi.org/10.25186/cs.v11i3.1105>
- Friendly, M., Fox, J., 2017. Visualizing generalized canonical discriminant and canonical correlation analysis. R Packag. version 0.8-0.
- Nakabayashi, R., Saito, K., 2015. Integrated metabolomics for abiotic stress responses in plants. *Curr. Opin. Plant Biol*. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.01.003>
- R core team, 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing [WWW Document]. R Found. Stat. Comput. URL <https://www.r-project.org>
- Salvador, P.V., 2013. Plant responses to drought stress. From morphological to molecular feature, por Ricardo Aroca, 2012. *Rev. Ecosistemas* 22, 93. <https://doi.org/10.7818/RE.2014.22-1.00>
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Hemmingsen, E.A., Bradstreet, E.D., 1964. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 52, 119–125.
- Silva, V.A., Prado, F.M., Antunes, W.C., Paiva, R.M.C., Ferrão, M.A.G., Andrade, A.C., Di Mascio, P., Loureiro, M.E., DaMatta, F.M., Almeida, A.M., 2018. Reciprocal grafting between clones with contrasting drought tolerance suggests a key role of abscisic acid in coffee acclimation to drought stress. *Plant Growth Regul.* <https://doi.org/10.1007/s10725-018-0385-5>