

EFEITO DO AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ E DA TEMPERATURA NO TRANSPORTE DE ELÉTRONS EM PLANTAS DE *COFFEA ARABICA* L.

W. P. Rodrigues^{1,2}; M. Q. Martins^{2,3}; A. S. Fortunato²; L. D. Martins³; F. L. Partelli⁴; E. Campostrini¹; J. N. Semedo⁵; I. P. Pais⁵; M. A. Tomaz³; F. Colwell²; P. Scotti-Campos⁵; R. Ghini⁶; F. C. Lidon⁷; F. M. DaMatta⁸; J. C. Ramalho^{2,8,*}

¹Setor de Fisiologia Vegetal, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Univ. Estadual de Norte Fluminense, Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. ²Grupo Interações Planta-Ambiente & Biodiversidade (PlantStress&Biodiversity), Dept. Recursos Naturais, Ambiente e Território (DRAT), Instituto Superior Agronomia, Univ. Lisboa (ISA-ULisboa), Oeiras, Portugal. ³Centro Ciências Agrárias, Univ. Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, Brasil. ⁴Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Univ. Federal do Espírito Santo, ES, Brasil. ⁵Unid. Investigação em Biotecnologia e Recursos Genéticos, Inst. Nac. Inv. Agrária e Veterinária, I.P., Oeiras, Portugal. ⁶Embrapa Environment, Jaguariúna, SP, Brasil. ⁷GeoBioTec, Fac. Ciências Tecnologia, Univ. Nova Lisboa, Caparica, Portugal. ⁸Dept. Biologia Vegetal, Univ. Federal Viçosa, MG, Brasil. *Autor correspondente: cochichor@mail.telepac.pt; cochichor@isa.ulisboa.pt

A ação humana promoveu o aumento atmosférico de [CO₂] de *ca.* 280 para 400 ppm, desde o período pré-industrial até 2013, aumentado actualmente a uma taxa de *ca.* 2 ppm por ano, prevendo-se que possa atingir 700 ppm na segunda metade deste século (Ramalho et al., 2013). Tal poderá vir ser acompanhado de um aumento médio da temperatura entre 3,7 a 4,8 °C até 2100 (IPCC, 2014). As alterações na [CO₂] e temperatura atmosférica têm impacto no metabolismo das plantas, nomeadamente na fotossíntese, respiração, fluidez e estabilidade dos sistemas de membranas (Oliveira et al., 2010; Wahid et al., 2007). É assim, fundamental avaliar a capacidade das plantas em aclimatar os seus processos vitais a uma velocidade compatível com as alterações ambientais previstas. Devido à sua origem, *Coffea arabica* L. apresenta bom desempenho entre 18 e 22 °C (DaMatta & Ramalho, 2006), pelo que os modelos de previsão, com base nas estimativas do aumento da temperatura atmosférica, apontam para alterações drásticas no zoneamento agroclimático do cafeeiro, com perda de áreas adequadas e de biodiversidade (Assad et al., 2004; Davis et al., 2012; Craparo et al., 2015) e o aumento das vulnerabilidades económicas e sociais (Baca et al., 2014). Contudo, tais estudos não consideraram o potencial efeito mitigador do aumento da [CO₂] nos impactos das altas temperaturas, devido à

ausência de tais dados até ao momento (Rodrigues et al., 2015). De fato, estudos recentes do nosso grupo têm demonstrado que o aumento atmosférico da $[CO_2]$ estimula a fotossíntese do cafeeiro em temperaturas adequadas (Ramalho et al., 2013; Ghini et al. 2015) e que pode mitigar os impactos ao nível da nutrição mineral e bioquímica foliar, principalmente ao nível do metabolismo fotossintético (Martins et al., 2014; Rodrigues et al., 2015), o é crucial para o desenvolvimento e produtividade. Neste sentido, avalia-se a aqui sensibilidade a temperaturas supra-ótimas do transporte de elétrons ao nível dos fotossistemas em plantas de *C. arabica*, e o possível efeito mitigador do aumento da $[CO_2]$ nos impactos negativos do aumento da temperatura.

Plantas de *C. arabica* cv. IPR 108 com 1,5 anos, cultivadas em vasos de 28 L, foram transferidas para uma câmara de crescimento (Fitoclima EHHF 10000, ARALAB, Portugal) onde se desenvolveram durante 1 ano em condições ambientais controladas de temperatura (25/20 °C, dia/noite), irradiância (ca. 700-800 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$), umidade relativa (75%), fotoperíodo (12 h) e 380 ou 700 ppm de $[CO_2]$, sem restrições de água, nutrientes ou espaço para desenvolvimento radicular. Após esse período, temperatura foi gradativamente aumentada de 25/20 °C até 42/34 °C, a uma taxa de 0,5 °C dia^{-1} , com uma estabilização de 7 dias nas temperaturas 31/25, 37/30 e 42/34 °C para permitir as análises em folhas recém-maduras. As taxas de transporte tilacoidais de elétrons *in vivo* envolvendo o fotossistema (PS) II, incluindo (PSII+OEC) ou não (PSII-OEC) o complexo de oxidação da água, e PSI, foram determinadas polarograficamente em frações de membranas dos cloroplastos com auxílio de um eletrodo do tipo Clark (LW2, Hansatech, Inglaterra), a 25 °C, conforme otimizado para o cafeeiro (Ramalho et al., 1999).

Os autores agradecem ao Dr. T. Sera (IAPAR, Brasil) pela disponibilização de semente do genótipo estudado. Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, Portugal, enquadrado no projecto PTDC/AGR-PRO/3386/2012 (ClimaCoffee) e pelas bolsas SFRH/BPD/47563/2008 (A.S. Fortunato), co-financiada pelo programa POPH, subsidiado pelo Fundo Social Europeu. Agradecimentos são ainda devidos à CAPES, Brasil, pelas bolsas de PDSE 12226/12-2 (L.D. Martins), 0427-14-4 (W.P. Rodrigues) e 0343-14-5 (M.Q. Martins) e ao CNPq por Bolsas de Produtividade Científica (E. Camprostrini, F. Partelli e F. DaMatta).

Resultados e conclusões

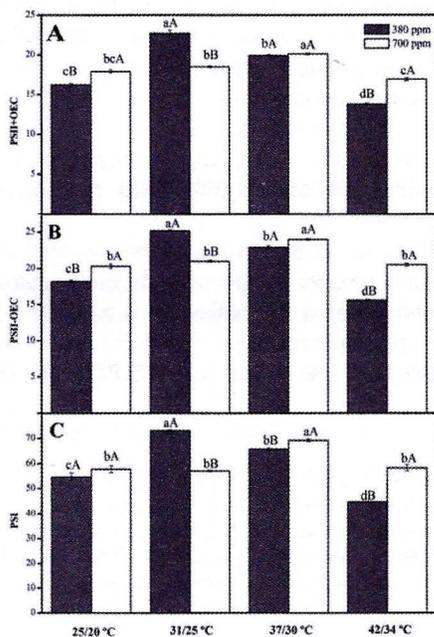


Figura 1. Taxas do transporte potencial de elétrons nas membranas tilacoidais (em $\mu mol\ O_2\ m^{-2}\ s^{-1}$) associado ao PSII (com e sem o complexo de oxidação da água, OEC) e PSI em plantas de *Coffea arabica* cv. IPR 108 cultivados a 380 ou 700 ppm de CO_2 submetidas a 25/20 °C, 31/25 °C, 37/30 °C e 42/34 °C. Para cada parâmetro, a média $\pm EP$ (n=4) seguida por diferentes letras expressa diferenças significativas entre temperaturas para a mesma concentração de CO_2 (a, b, c, d) ou entre tratamentos de CO_2 para cada temperatura (A,B). (Baseado em Rodrigues et al., 2015).

A 25/20 °C as plantas cultivadas em 700 ppm apresentaram um aumento de 10%, 11% e 6% nas atividades dos PSII+OEC, PSII-OEC e PSI, respectivamente. Para as plantas cultivadas a 380 ppm, as maiores atividades dos PSs foram observadas a 31/25 °C (Fig. 1), sendo superiores às das plantas de 700 ppm, que não mostraram alterações a esta temperatura em relação ao seu controlo a 25/20 °C. Contudo, nas plantas de 700 ppm as atividades máximas dos PSs foram observadas a 37/30 °C, quando nas plantas de 380 ppm estavam já em descida. Contudo, pode afirmar-se que, até 37/30 °C existe uma clara tolerância do transportetilacoidal de electrons, mesmo nas plantas em $[CO_2]$ normal, o que está de acordo com a manutenção de actividade fotossintética relevante a esta temperatura (Rodrigues et al., 2015), mas mostrando tolerância a temperaturas acima do que é usualmente aceite. Com o aumento da temperatura para 42/34 °C, a actividade dos PSs desceu abaixo do valor de controlo nas plantas de 380 ppm. Nas plantas de 700 ppm tal não sucedeu, apesar de se verificar uma descida relativamente aos valores máximos de 37/30 °C. Estes resultados mostram um efeito mitigador da alta $[CO_2]$ relativamente aos impactos da alta temperatura. Ainda assim, em qualquer das $[CO_2]$ há uma manutenção relevante da actividade de transporte de elétrons com alta temperatura, não sendo esta a principal afectação

que leva à forte redução da taxa de fotossíntese observada neste genótipo a 42/34 °C (Rodrigues et al., 2015). De fato, a inibição da fotossíntese em altas temperaturas inclui geralmente a ruptura da integridade funcional do aparato fotossintético ao nível dos PSs, do OEC e do transporte de electrons (Berry & Björkman, 1980). As membranas dos tilacóides são particularmente sensíveis ao calor, e impactos na fotoquímica constitui um dos primeiros indicadores de sensibilidade, com danos que ocorrem no PSII e na ultra-estrutura dos cloroplastos (Mano, 2002), algo que só marginalmente ocorre neste genótipo de cafeeiro. Ainda assim, a 42/34°C a atividade dos fotossistemas declina, principalmente nas plantas de 380 ppm, o que pode estar relacionado com a perda de proteína D1, como ocorrerá em cafeeiros submetidos a irradiância excessiva (Ramalho et al., 2000). Pela comparação dos resultados da actividade do PSII com e sem OEC, verifica-se igualmente que este não é um ponto-chave de sensibilidade ao calor. Os resultados revelam que *C. arabica* cv. IPR108 pode lidar com altas temperaturas, que não há um desinvestimento em estruturas tilacóidais com o aumento da [CO₂] e que este contribui para melhorar a tolerância e o desempenho em condições de temperatura elevada.