

TEOR DE CAROTENÓIDES EM FOLHAS DE PLANTAS DE *C. ARABICA* L. CV. IPR 108 CULTIVADO SOB EFEITO DE AUMENTO ATMOSFÉRICO DA [CO₂] E DA TEMPERATURA

LD Martins^{1,2}, MQ Martins^{1,3}, WP Rodrigues^{1,4}, AS Fortunato¹, F Colwell¹, IP Pais⁵, JN Semedo⁵, AP Rodrigues¹, AE Leitão^{1,6}, AI Ribeiro-Barros^{1,6}, P Scotti-Campos⁵, FL Partelli³, MA Tomaz², E Campostrini⁴, R Ghini⁷, FC Lidon⁶, FM DaMatta⁸, JC Ramalho^{1,6}

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

Quedas na produtividade de café ocorridas no Brasil nos últimos anos têm sido atribuídas a fatores climáticos como secas severas acompanhadas de altas temperaturas. Tendo em conta as previsões do Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas, que estimam um aumento de temperatura (e do nível de CO₂) atmosférica (IPCC, 2014) ao longo do presente século, a que se previsivelmente se juntarão alterações dos padrões de pluviosidade e da disponibilidade hídrica. Desta forma, existe um risco significativo de impactos na cadeia produtiva do café, tendo em conta que a temperatura e a disponibilidade hídrica são os dois factores climáticos que mais limitam esta cultura (DaMATT& RAMALHO, 2006). Isto realça a necessidade e importância de estudos sobre o impacto das mudanças climáticas sobre o cafeeiro, algo que apenas muito recentemente começou a merecer a devida atenção (RAMALHO et al, 2013; MARTINS et al., 2014; GHINI et al, 2015; SANTOS et al., 2015; RODRIGUES et al., 2015).

O estresse ocasionado por altas temperaturas é normalmente caracterizado por declínio progressivo na capacidade fotossintética das plantas, neste sentido a análise de pigmentos relacionados a fotossíntese torna-se uma importante ferramenta para avaliação indireta da integridade do aparato fotossintético (RONG-HUA et al., 2006). Os pigmentos envolvidos na fotossíntese das plantas superiores são as clorofilas (*a* e *b*) e os carotenóides. As clorofilas realizam a função de captação de energia luminosa, enquanto os carotenóides auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de pigmentos acessórios (STREIT et al., 2005), podendo igualmente funcionar como elementos fotoprotectores através da dissipação térmica do excesso de energia.

Neste sentido o objetivo do ensaio foi de avaliar o teor de carotenóides em folhas de plantas de café *C. arabica* L. cv. IPR 108 cultivado sob efeito de aumento gradual da temperatura em dois níveis de CO₂ atmosférico. O experimento foi realizado adotando-se o arranjo experimental do tipo fatorial simples, em delineamento inteiramente casualizado, sendo empregado dois fatores (níveis de CO₂ e níveis de temperatura). Para isso foram utilizadas duas câmaras de crescimento (EHHF 10000, Aralab, Portugal), com condições ambientais controladas de CO₂ (380 ou 700 µL L⁻¹) e ambas com controlo de humidade relativa (75%), irradiância (700-800 µmol m⁻² s⁻¹), fotoperíodo (12h) e temperatura. As plantas de *C. arabica* L. cv. IPR 108, com cerca de 1,5 anos, em vasos de 28 L, foram mantidas a 25/20 °C (dia/noite) durante de 10 meses. A temperatura foi então gradualmente aumentada a uma taxa de 0,5°C/dia, sendo efectuadas análises a 25/20°C, 31/25°C; 37/30°C e 42/34°C. Para análise dos pigmentos, cortaram-se discos foliares (1,5 cm²), que foram imediatamente congelados em N líquido e armazenados a -80°C até à fase de processamento e análise dos pigmentos. O processamento das amostras, a separação e identificação dos diversos carotenóides por HPLC de fase inversa foi efectuado conforme descrito em Batista-Santos et al. (2011).

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. Campostrini, F. Partelli e F. DaMatta).

Resultados e conclusões

Em temperatura controle (25/20 °C), foi possível observar que plantas de IPR 108 cultivadas em 700 µL CO₂ L⁻¹ apresentaram redução dos teores foliares de violaxantina, luteína, clorofila *a+b* e carotenoides totais e incremento dos teores de anteraxantina e DEPS em comparação a plantas cultivadas em 380 µL CO₂ L⁻¹ (Tabela 1), revelando um menor investimento em moléculas dissipadoras de energia. Tal estará provavelmente relacionado com a maior utilização de energia no metabolismo fotossintético por parte das plantas cultivadas em 700 µL CO₂ L⁻¹ (RAMALHO et al., 2013). Este padrão foi modificado com o aumento da temperatura (42/34 °C), revelando semelhança entre os teores foliares dos

carotenóides das plantas em ambas $[CO_2]$. De fato, independente da $[CO_2]$, a 42/34 °C observaram-se incrementos dos teores foliares de anteraxantina, zeaxantina, luteína e DEPS. Aumentos foram ainda observados no teor foliar de clorofila $a+b$ e de carotenóides totais nas plantas em condições de elevada $[CO_2]$. Apenas o teor de violaxantina tendeu para menores valores em alta temperatura.

No geral, independente da $[CO_2]$, o aumento da temperatura implicou em incremento nos teores de foliares dos pigmentos estudados. O aumento dos carotenóides anteraxantina, zeaxantina e luteína mostram um reforço da capacidade antioxidativa e de dissipação térmica, podendo ainda ocorrer prováveis rearranjos ao nível dos complexos de pigmentos no cloroplasto já que também o teor de clorofila total aumentou. Conclui-se que o efeito da alta $[CO_2]$ em temperatura adequada (25/20 °C) reduz a necessidade de investimento em estruturas de captação e dissipação de energia luminosa devido ao forte aumento das taxas de fotossíntese. Em temperatura elevada (42/34 °C) as plantas desenvolvidas em alta $[CO_2]$ têm uma maior resposta, aumentando os teores de pigmentos para valores semelhantes aos das plantas de 380 μL de $CO_2 L^{-1}$. As estruturas de captação de energia luminosa não foram negativamente afectadas pela temperatura extrema de 42/34 °C, havendo inclusivamente uma capacidade de resposta dos cafeeiros através do aumento da capacidade de dissipação de energia, face ao decréscimo da taxa de fotossíntese a esta temperatura (RAMALHO et al., 2013; RODRIGUES et al., 2015).

Tabela 1 – Variação do teor foliar de alguns carotenoides em *C. arabica* cv. IPR 108 ($mg g^{-1}$ em peso seco), cultivados duas temperatura atmosférica (°C) e concentrações de CO_2 ($\mu L L^{-1}$).

$[CO_2]$ ($\mu L CO_2 L^{-1}$)	25/20°C		42/34 °C	
	Violaxantina ($mg g^{-1}$)			
380	0,411 ±	0,030 aA	0,181 ±	0,026 bA
700	0,233 ±	0,026 aB	0,205 ±	0,026 aA
	Anteraxantina ($mg g^{-1}$)			
380	0,013 ±	0,007 bB	0,049 ±	0,006 aA
700	0,043 ±	0,006 bA	0,055 ±	0,006 aA
	Zeaxantina ($mg g^{-1}$)			
380	0,032 ±	0,010 bA	0,080 ±	0,008 aA
700	0,040 ±	0,009 bA	0,089 ±	0,008 aA
	DEPS			
380	0,084 ±	0,024 bB	0,341 ±	0,019 aA
700	0,187 ±	0,022 bA	0,337 ±	0,019 aA
	Luteína ($mg g^{-1}$)			
380	0,828 ±	0,061 bA	1,21 ±	0,053 aA
700	0,672 ±	0,053 bB	1,11 ±	0,053 aA
	Total Carotenóides ($mg g^{-1}$)			
380	2,13 ±	0,14 aA	2,36 ±	0,14 aA
700	1,59 ±	0,12 bB	2,14 ±	0,12 aA
	Clorofila ($a+b$) ($mg g^{-1}$)			
380	11,28 ±	0,64 aA	12,33 ±	0,74 aA
700	9,45 ±	0,64 bB	11,11 ±	0,64 aA

Médias com mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; cada valor representa a média ± erro padrão (EP; n=6).