

USO DE CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS NA IDENTIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CAFÉ ARÁBICA TOLERANTES AO *Meloidogyne paranaensis*

Vânia Aparecida Silva¹, Sônia Maria de Lima Salgado², Lígia Alcalde de Sá³, André Moraes Reis⁴,
Helbert Rezende de Oliveira Silveira⁵, Antônio Nazareno Guimarães Mendes⁶,
João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa⁷, Antonio Alves Pereira⁸

(Recebido: 01 de setembro de 2014; aceito: 10 de outubro de 2014)

RESUMO: Objetivou-se avaliar o uso de características fisiológicas, na identificação de genótipos tolerantes ao *Meloidogyne paranaensis*, em áreas sujeitas ao déficit hídrico. O experimento foi instalado com dois genótipos de *Coffea arabica* L.: 16 (MG 0179-1 R1) e 28 (MG 0179-3 R1) e duas cultivares: IPR-100 (testemunha resistente) e Mundo Novo IAC 379-19 (testemunha suscetível), em delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. Foram avaliados por população de *M. paranaensis*, produção, o diâmetro de copa, altura de planta, vigor vegetativo, potencial hídrico antemanhã (ψ_{am}), fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), temperatura foliar (TF), eficiência do uso da água (EUA) e parâmetros de fluorescência da clorofila *a*. Os genótipos 16, 28 e IPR100 apresentaram maior desenvolvimento vegetativo e maior produção do que o genótipo Mundo Novo, com destaque para o genótipo 28. Verificou-se maior potencial hídrico nos genótipos 16, 28 e IPR-100 comparados à cv. Mundo Novo. Entretanto, os genótipos não apresentaram diferenças quanto às trocas gasosas. De acordo com os parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, o genótipo 28 apresentou melhor desempenho fotoquímico e capacidade de aclimação ao déficit hídrico. Pelas características fisiológicas identificam-se genótipos tolerantes ao *Meloidogyne paranaensis*, em áreas sujeitas ao déficit hídrico, com destaque para a análise de fluorescência da clorofila *a* que apresenta potencial para avaliações em larga escala.

Termos para indexação: Nematóide, potencial hídrico, fluorescência da clorofila *a*, *Coffea arabica* L.

USE OF PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS TO IDENTIFY GENOTYPES OF ARABIC COFFEE TOLERANT TO *Meloidogyne paranaensis*

ABSTRACT: This work aimed to evaluate on use of physiological traits to identify genotypes of arabic coffee tolerant to *Meloidogyne paranaensis* when cropped in areas subjected to water deficits. The experiment was performed in field conditions with two genotypes: 16(MG 0179-1R1) and 28(0179-3 MGR1) and two cultivars: IPR-100 (resistant control) and Mundo Novo IAC379-19 (susceptible control) in a randomized block design with five replicates. The evaluated characteristics were: nematode population at the root, production, crown diameter, plant height, vegetative vigor, predawn leaf water potential (ψ_{am}), net photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), transpiration (E), leaf temperature (TF), water use efficiency (WUE) and chlorophyll *a* fluorescence parameters. Genotypes 16, 28 and IPR100 showed higher vegetative growth and higher production than cv. Mundo Novo, especially the genotype 28. The leaf water potential was higher in genotypes 16, 28 and IPR-100 compared to cv. Mundo Novo. However, the genotypes showed no differences in gas exchanges. According to the chlorophyll *a* fluorescence parameters, genotype 28 showed better photochemical performance and acclimation to water deficit. The physiological characteristics identify tolerant genotypes to *Meloidogyne paranaensis* when cropped in areas subjected to water deficits, especially for the analysis of chlorophyll fluorescence, since it can be used in large-scale assessments.

Index terms: Nematode, water potential, chlorophyll *a* fluorescence, *Coffea arabica* L.

1 INTRODUÇÃO

Os cafezais estão sujeitos a estresses bióticos e abióticos que afetam, significativamente, a produção de café. Dentre os fatores bióticos, destacam-se o nematóide das galhas *Meloidogyne paranaensis* (CARNEIRO et al., 1996), que é

responsável por reduzir, drasticamente, o sistema radicular e, conseqüentemente, o desenvolvimento vegetativo e a produtividade, causando dano econômico (CASTRO et al., 2008). Além das perdas causadas na produção, a infestação pelos nematoides pode agravar as conseqüências de estresses abióticos, como o déficit hídrico, sobre

^{1,2,5}Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Unidade Regional Epamig Sul de Minas/URESM Rodovia Lavras/Ijaci, Km 02- Cx. P. 176 - 37200-000 - Lavras-MG - vania.silva@epamig.ufla.br, soniaepamig@gmail.com, herosrezende@yahoo.com.br

^{3,6}Universidade Federal de Lavras/UFLA -Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 - 37.2000-000 - Lavras - MG lila_queen@msn.com, nazareno.ufla@hotmail.com

⁴Rua Tonico Xavier, nº 1000- Bairro Bom Pastor - 37014-250 - Varginha-MG- andremoraesreis@gmail.com

⁷Universidade Federal de Lavras/UFLA -Departamento de Biologia /DBI - Cx. P. 3037 37.2000-000 - Lavras - MG jp.barbosa@dbi.ufla.br

⁸Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais EPAMIG - Unidade Regional Epamig Zona da Mata/UREZM Vila Gianetti, 46/47- Campus da UFV- Cx. P. 216- 36.570-000 - Viçosa -MG- pereira@epamig.ufv.br

o desenvolvimento e produção do cafeeiro. Neste contexto, a identificação de cultivares resistentes ou tolerantes ao *M. paranaensis* é considerada de grande importância nos programas de melhoramento genético do cafeeiro (SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014).

A maioria dos estudos sobre o comportamento de genótipos de cafeeiro a *Meloidogyne* spp. tem sido conduzida sob condições de casa de vegetação (ITO et al., 2008). Contudo, torna-se imprescindível a avaliação do comportamento das progênies, sob condições de campo, devido à interação com outros estresses abióticos (REZENDE et al., 2013). Além disso, pelos programas de melhoramento têm-se estudado o comportamento de genótipos em área infestada por *M. paranaensis*, basicamente, por meio de análises de características fitotécnicas, como parâmetros de crescimento e produção (SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014). Esses ensaios são laboriosos, de longo prazo e, muitas vezes, impedem a avaliação de um número grande de material genético.

Entretanto, recentemente, avaliações de características fisiológicas foliares (relações hídricas e fotossíntese), têm se mostrado relevantes para a identificação de genótipos, com tolerância diferencial a estresses em curto prazo (SILVA et al., 2013). Concomitantemente, pode-se complementar a genotipagem em análise funcional e estratégias moleculares de melhoramento (MARRACINI et al., 2012).

Entre as características fisiológicas, que podem ser exploradas em programas de melhoramento, para tolerância ao nematoide em condições de deficiência hídrica, destaca-se a eficiência de uso da água (SILVA et al., 2013). Além disso, em estudos relacionados às curvas das características da fluorescência da clorofila, realizados em resposta ao fluxo de fótons fotossintéticos, podem-se fornecer informações relevantes do padrão de resposta da fotossíntese e do desempenho do PSII dos genótipos. Essas curvas podem, não somente acessar a capacidade fotossintética da planta, mas a atividade potencial sob uma larga escala de intensidade de radiação (HENRIQUES, 2009).

Diante do exposto e considerando que as informações a respeito da caracterização fisiológica foliar de genótipos, em áreas infestadas por *Meloidogyne paranaensis* sujeitas ao déficit hídrico sazonal são escassas, objetivou-se avaliar o uso de características fisiológicas na identificação de genótipos tolerantes ao *Meloidogyne paranaensis*, em áreas sujeitas ao déficit hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em uma área localizada na região Sudoeste de Minas Gerais, no Município de Piumhi, Fazenda Guaiçara, de propriedade particular, situada a 20° 25' 28,7" de latitude Sul, 46° 1' 10,5" de longitude oeste e altitude média de 812m. O solo contém argila (61%), silte (28%) e areia (11%), topografia de relevo plano e apresenta alta infestação de *Meloidogyne paranaensis*, espécie identificada, por meio da técnica de eletroforese, de Carneiro e Almeida (2001).

Em fevereiro de 2009, foi realizado o plantio das mudas dos genótipos 16 (MG 0179-1 R1) e 28 (MG 0179-3 R1) e das cultivares IPR-100 (testemunha resistente) e Mundo Novo IAC 379-19 (testemunha suscetível). O delineamento utilizado foi de blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições e espaçamento de 3,0 x 0,8m. A implantação e a condução dos cafeeiros seguiram as recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro em Minas Gerais, sendo as adubações realizadas conforme Guimarães e Reis (2010). No manejo das plantas no campo não foram adicionados produtos para o controle de pragas de solo.

A quantificação da população de *Meloidogyne paranaensis* nos cafeeiros foi realizada trinta meses após o plantio. Para isso, amostras de raízes foram coletadas nos dois lados da planta, perpendiculares à linha de plantio. Em laboratório, as raízes foram lavadas, retirado o excesso de água em papel absorvente e pesadas para obtenção do peso da matéria fresca das raízes. Então, foi observada a sintomatologia do parasitismo de *M. paranaensis* nas raízes, seguida da extração dos nematoides pelo método de extração de Hussey e Barker (1973), para extrair os ovos e juvenis do segundo estágio (J2). A quantificação da população de ovos + J2 foi realizada em lâmina de contagem sob microscópio de objetiva invertida e calculada a população de *M. paranaensis* por grama de raiz.

A análise de produção foi realizada em plantas com 2,5 e 3,5 anos de idade. A produção foi medida em litros de café cereja ("café da roça") e expressa em produção média do primeiro biênio produtivo (2011/2012). Os parâmetros biométricos (altura, diâmetro de copa e vigor) foram avaliados ao final da estação de seca, em setembro de 2012. O diâmetro de copa foi medido no terço médio da planta, entre as duas extremidades dos

ramos plagiotrópicos, opostos no mesmo nó, com auxílio de uma régua graduada. A altura foi medida, a partir do colo até o meristema apical. O vigor vegetativo foi avaliado atribuindo-se notas, conforme escala arbitrária de 10 pontos, sendo a nota 1 correspondente às piores plantas, com reduzido vigor vegetativo e acentuado sintoma de depauperamento e 10, a nota atribuída às plantas com excelente vigor, mais enfolhadas e com acentuado crescimento vegetativo dos ramos produtivos, conforme proposto por Carvalho et al. (2008).

As características fisiológicas foram avaliadas em setembro (fim da época seca) e novembro (início da época chuvosa) de 2012. A precipitação média acumulada na estação seca foi de 134 mm e, na estação chuvosa, 348 mm (Figura 1). As avaliações do estado hídrico foram realizadas, por meio da avaliação do potencial hídrico máximo, medido na antemã. Para tanto, foi padronizada a medição em folhas do terceiro nó de ramos plagiotrópicos, localizados no terço médio na face voltada para o leste. As folhas analisadas não apresentavam sintomas e vestígios de injúrias por pragas, patógenos ou deficiência nutricional. O potencial hídrico foi determinado utilizando a Bomba de Scholander (PMS Instruments-Plant Moisture 1000).

A taxa de assimilação líquida (A), a taxa transpiratória (E), a condutância estomática (g_s) e temperatura foliar foram medidas sob condições ambientais, entre as 9 e 11 horas com o auxílio de um sistema portátil de análise de gases a infravermelho (IRGA LCA4 - ADC Instruments). As medições foram realizadas em folhas do terceiro nó de ramos plagiotrópicos, localizados no terço médio na face voltada para o leste. Considerando os dados de trocas gasosas, foi estimada a eficiência

do uso da água instantânea, dada pela razão entre A e E (EUA). Na avaliação de setembro, a densidade de fluxo de fótons, fotossinteticamente ativos, foi de $1486 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a temperatura do ar 21°C e déficit de pressão de vapor (DPV) de $0,87 \text{ kPa}$. Já, em novembro, foi de $692,67 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a temperatura do ar 24°C e DPV de $0,56 \text{ kPa}$. Para análise estatística de variáveis em duas épocas, foi adotado o esquema de parcelas subdivididas no tempo, em que os genótipos constituíram a parcela e as épocas, a subparcela.

Os parâmetros de fluorescência da clorofila a foram determinados com o fluorímetro portátil de luz modulada MINI-PAM (Walz, Effeltrich, Germany). Dentre estes, as fluorescência mínima (F_0) e máxima (F_m) foram determinadas em folhas adaptadas ao escuro por meia-hora. As leituras, para obtenção das variáveis F_0 , F_m e rendimento quântico máximo (F_v/F_m), foram realizadas nas mesmas folhas em que foram realizadas as trocas gasosas. Na época seca, foi realizada curva de resposta à luz, com fluxo de fótons fotossintéticos (FFF), variando de 0 a $3884 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, por um período inferior a dois minutos. Foram obtidos os parâmetros fluorescência mínima estimada de folhas adaptadas à luz (F), fluorescência máxima (F_m'), rendimento quântico efetivo do fotossistema II ($\Phi_{\text{FSII}} = [DF/FM' - FM' - (F/FM')]$), taxa aparente de transporte de elétrons ($\text{ETR} = \Phi_{\text{FSII}} \times \text{RFA} \times 0,5 \times 0,84$), coeficiente de extinção fotoquímico ($qP = (F_m' - F)/(F_m' - F_0')$), coeficiente de extinção não-fotoquímico ($qN = F_m - F_m'/F_v$) e rendimento quântico da dissipação de energia regulada do FSII ($\text{NPQ} = (F_m - F_m')/F_m'$) (HENRIQUES, 2009).

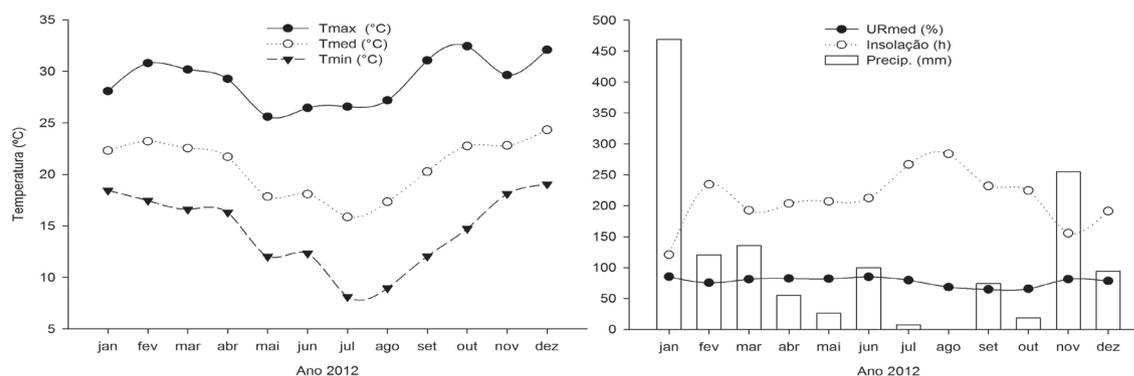


FIGURA 1 - Variação média mensal das temperaturas máxima, mínima e média do ar; variação média mensal da precipitação, umidade relativa e insolação, obtidas em Piumhi-MG, durante o ano de 2012.

Os dados referentes às avaliações de produção foram analisados, considerando-se modelos lineares generalizados e observado o efeito dos tratamentos pelo teste de Qui Quadrado, a 5% de probabilidade. As demais variáveis foram analisadas pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ambos a 5% de probabilidade, utilizando o programa computacional SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 2001). As análises foram realizadas com o programa computacional SAS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação da população de *M. paranaensis* (ovos + juvenis do segundo estágio-J2) nas amostras de raízes, verificaram-se dois extremos, identificados pela população muito alta na cultivar suscetível (Mundo Novo IAC 379-19) e população muito baixa na cultivar resistente (IPR-100) (Tabela 1). Esses resultados concordam com as afirmações de Sera et al. (2007) de que a cultivar Mundo Novo é altamente susceptível às várias espécies de *Meloidogyne*. E, também, corroboram com os de Ito et al. (2008) que alegam a cultivar IPR-100 ser resistente a *M. paranaensis*. Considerando os genótipos, observou-se que ambos, 16 e 28, apresentaram população inferior à cultivar suscetível, porém maior do que na cultivar resistente.

A cultivar resistente e os genótipos 16 e 28 apresentaram maiores produções, com destaque para o genótipo 28, que produziu 96% a mais do que a cultivar suscetível e 27% a mais do que a cultivar resistente. Na análise dos parâmetros biométricos, os genótipos 16, 28 e a cultivar resistente apresentaram maior diâmetro de copa do que a cultivar suscetível. O genótipo 16 apresentou, também, maior altura. E, quanto ao vigor, somente a cultivar resistente diferiu, significativamente, da cultivar suscetível. De acordo com Salgado, Rezende e Nunes (2014), há correlações significativas entre produção, parâmetros de crescimento e *M. paranaensis* e, portanto, são características que podem ser utilizadas para identificação e seleção de genótipos de café em programas de melhoramento.

Quando se considera a população de *M. paranaensis*, associada à produção das plantas, os genótipos 16 e 28 podem ser considerados como tolerantes ao *M. paranaensis*, pois apresentaram bom desenvolvimento e produção, mesmo com alta população de fitonematoide nas raízes.

O comportamento de tolerância tem sido verificado em trabalhos de caracterização e seleção de genótipos em condições de campo, em que as plantas apresentam habilidade de crescer e boa produção, mesmo na presença de *Meloidogyne* sp. (REZENDE et al., 2013; SALGADO; REZENDE; NUNES, 2014).

Quanto à capacidade de manutenção do estado hídrico e às trocas gasosas, independente da época avaliada, os genótipos 16 e 28, apresentaram potenciais hídricos maiores que a cultivar suscetível e iguais à cultivar resistente, o que demonstra que esses genótipos possuem melhor manutenção do estado hídrico do que a cultivar suscetível (Tabela 2). Isso sugere maior capacidade de absorção de água pelas raízes, consequência da capacidade dos genótipos tolerantes de suportar o ataque desses parasitos (REZENDE et al, 2013). Em todos os genótipos e cultivares, verificou-se que, no final da época de seca (setembro), o potencial hídrico foi menor do que no início da época chuvosa (novembro), em razão da menor disponibilidade hídrica no solo, ocasionada pela menor precipitação acumulada.

Quanto às características de trocas gasosas, não foram verificadas diferenças significativas em fotossíntese, condutância estomática, transpiração, temperatura foliar e eficiência do uso da água entre os genótipos. Contudo, a condutância estomática e a transpiração foram menores na estação seca (setembro), que não se traduziu em menores taxas fotossintéticas. Dessa maneira, a redução de "gs" associada à manutenção de "A", resultou em maior eficiência do uso da água na época seca, em todos os genótipos. De acordo com Damatta et al. (2006), uma maior eficiência do uso da água pode ser um atributo vantajoso para seleção de genótipos, quando o período seco não for, consideravelmente, prolongado.

Entretanto, na análise de variações da fluorescência da clorofila *a*, em folhas adaptadas ao escuro, independente da época avaliada, os genótipos 16 e 28 apresentaram valores de Fo iguais à testemunha resistente. Apenas o genótipo 28 apresentou menor valor de Fo do que a testemunha suscetível, que, segundo Baker e Rosenqvist (2004), sugere maior capacidade de transferência da energia de excitação da antena, para o centro de reação do fotossistema II (FSII), quando todos os aceptores estão abertos, situação iminente para a ativação das reações fotoquímicas.

TABELA 1 - Resumo das médias das variáveis: população de nematoide (ovos + J2) na raiz (pop./g raiz), produção biênio 2011/2012 (L/planta), diâmetro de copa (DC; cm), altura de planta (AP; cm) e vigor vegetativo (VV; nota de 0 a 10) dos genótipos e cultivares de café avaliados em área infestada por *Meloidogyne paranaensis*.

Genótipos e Cultivares	Variáveis Biométricas				
	População/g raiz	Prod. (L/planta)	DC (cm)	AP (cm)	VV
IPR-100	171a	5,7b	168,3 a	152,00 ab	8,0 a
28	2396 b	7,5a	161,3 a	154,17 ab	4,7 ab
16	1368 b	5,4b	157,9 a	195,33 a	6,3 ab
Mundo Novo	5236 c	0,3c	97,7 b	119,67 b	3,0 b
CV(%)	46,18	31,84	7,30	10,22	22,74

Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey e teste de Qui Quadrado.

TABELA 2 - Valores médios de potencial hídrico na antemãhã (Ψ_{am} , MPa), da fotossíntese (A , $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), da condutância estomática (g_s , $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), da transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), da temperatura foliar (TF, °C), da eficiência do uso da água (EUA, $\mu\text{mol CO}_2\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$), fluorescência mínima (Fo) e rendimento quântico máximo (Fv/Fm) dos genótipos e cultivares de café avaliados em área infestada por *Meloidogyne paranaensis*.

Genótipo	Ψ_{am}	A	g_s	E	TF	EUA	Fo	Fv/Fm
IPR-100	-0,7000 a	10,18 a	0,046 a	1,41 a	29,5 a	9,19 a	1654,00ab	0,408 ab
28	-0,9188 a	10,74 a	0,041 a	1,34 a	29,0 a	8,02 a	1590,25 b	0,431 a
16	-0,9833 a	10,08 a	0,043 a	1,39 a	28,8 a	7,28 a	1620,13ab	0,419 ab
M. Novo	-1,4583 b	8,55 a	0,034 a	1,16 a	30,6 a	7,35 a	1,796,13a	0,358 b
Época*								
Seco	- 1,2592 B	9,16 A	0,024 B	0,99 B	30,8 A	9,20 B	1671,56 A	0,403 A
Chuvoso	-0,7967 A	10,40 A	0,058 A	1,64 A	28,4 B	6,35 A	1658,56 A	0,404 A
CV(%)	40,01	27,45	30,83	27,99	6,68	27,00	8,42	12,43

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

* período de seca= setembro/2012; período de chuva= novembro/2012.

Embora a testemunha resistente não tenha diferido da testemunha suscetível, quanto à relação Fv/Fm, os genótipos 28 e 16 diferiram, apresentando maiores valores. A relação Fv/Fm é uma estimativa da eficiência quântica máxima da atividade fotoquímica do FSII (Φ_{FSII}), quando todos os centros de reação do FSII estão abertos, portanto, maiores valores indicam maior rendimento máximo, intrínseco ou quântico potencial do FSII (BAKER; ROSENQVST, 2004). De acordo com Oliveira, Alves e Vitória (2009), o Φ_{FSII} tem um valor máximo teórico de, aproximadamente, 0,800 em condições ótimas de cultivo, entretanto, foram verificados baixos valores de Φ_{FSII} em todos os genótipos, o que pode evidenciar danos nos centros de reação do FSII,

em cafeeiros cultivados em áreas infestadas por nematoides sujeitas a déficit hídrico.

Analisando-se curva de resposta à luz, considerando os parâmetros F e Fm', observou-se que não houve diferença com aumento da densidade de fluxo de fótons fotossintetizantes e entre os genótipos 28 e 16 e testemunha resistente (Figura 2). Entretanto, no genótipo suscetível, independente da densidade de fluxo de fótons fotossintetizantes, houve maiores valores de F e Fm', que segundo Baker (2008), pode ser um indicativo do impedimento na transferência de energia para o centro de reação do FSII, pela dissociação do complexo coletor de luz do centro de reação do FSII (LHC II).

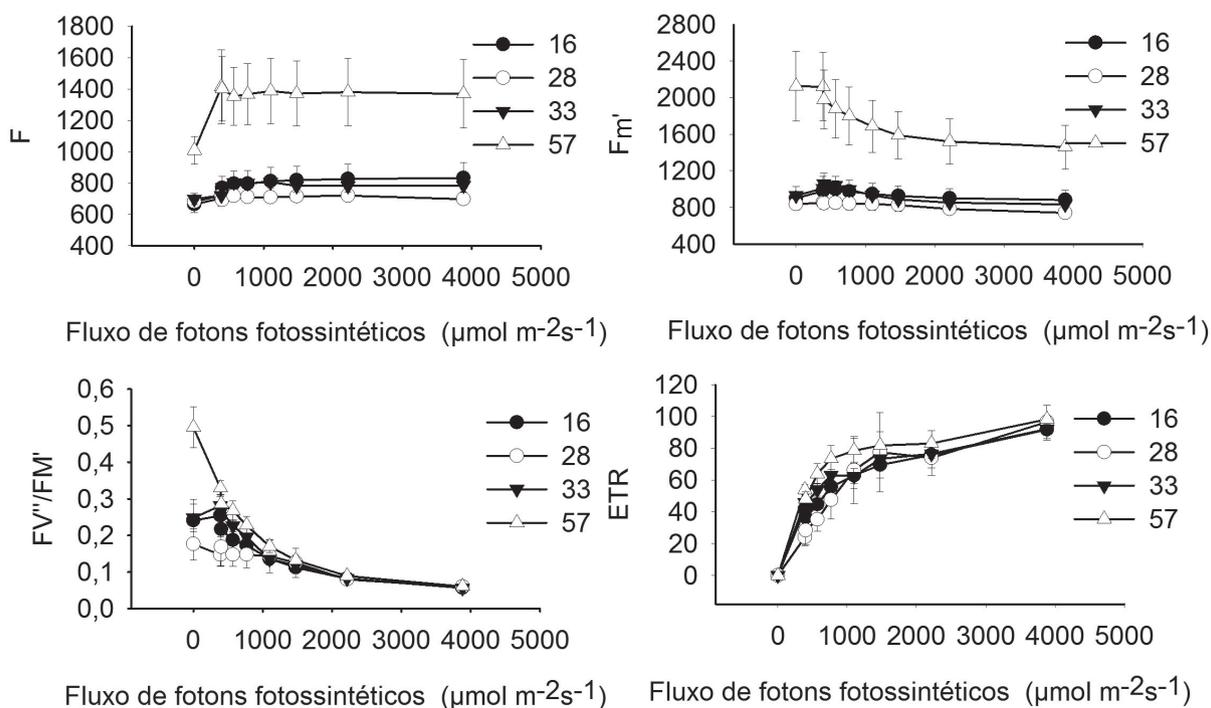


FIGURA 2 - Curva de resposta da fluorescência mínima estimada de folhas adaptadas à luz (F), da fluorescência máxima (Fm'), do rendimento quântico efetivo do FSII (ΦFSII) e da taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) ao aumento da densidade de fluxo de fótons fotossintetizantes (DFFF), em genótipos de café arábica, em área infestada por *Meloidogyne paranaensis* na estação seca.

Com o aumento da intensidade de luz, observou-se o declínio no rendimento quântico efetivo (Fv'/Fm') e aumento na ETR até o ponto de saturação dos carreadores de elétrons, em todos os genótipos. Em decorrência dos maiores valores de F e Fm', o genótipo suscetível apresentou maiores valores de Fv'/Fm' e de ETR, até a irradiância de saturação, a partir da qual não houve mais diferenças entre os genótipos.

Considerando o quenching fotoquímico (qP), destaca-se o genótipo 28, onde os valores de qP foram, significativamente, maiores e não diminuíram com aumento de DFFF (Figura 3). Isso indica que a extinção da fluorescência, para processos fotoquímicos, foi maior nesse genótipo, ou que mais energia foi extinta em processos primários das reações fotoquímicas. Por outro lado, o aumento do DFFF promoveu declínio no qP nos genótipos 16 e testemunhas resistente e suscetível, entretanto, os valores de qP do genótipo 16 não diferiram de ambas as testemunhas, enquanto os valores de qP da testemunha resistente foram maiores comparados à testemunha suscetível.

Menores valores de qP indicam que uma menor proporção de energia luminosa absorvida está sendo usada para conduzir reações fotoquímicas nos centros de reação do FSII (LOSCIALE et al., 2011). Os menores valores de qP, observados para o genótipo suscetível, podem estar associados ao alto valor da fluorescência inicial, sugerindo que a maior parte da energia já foi dissipada no LHCII, antes mesmo de atingir o centro de reação do PSII. A dissipação do excesso de energia, mensurado pelo coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ), foi crescente com o aumento de DFFF, principalmente, para a testemunha suscetível. Os valores de NPQ não diferiram entre os genótipos 16, 28 e testemunha resistente, porém foram menores que a testemunha suscetível. Isso indica que nos genótipos 16, 28 e na testemunha resistente há menores perdas da energia de excitação coletados na antena em forma de calor e, portanto, maior quantidade de energia é transferida para o RCII para conduzir as reações fotoquímicas (HENRIQUES, 2009).

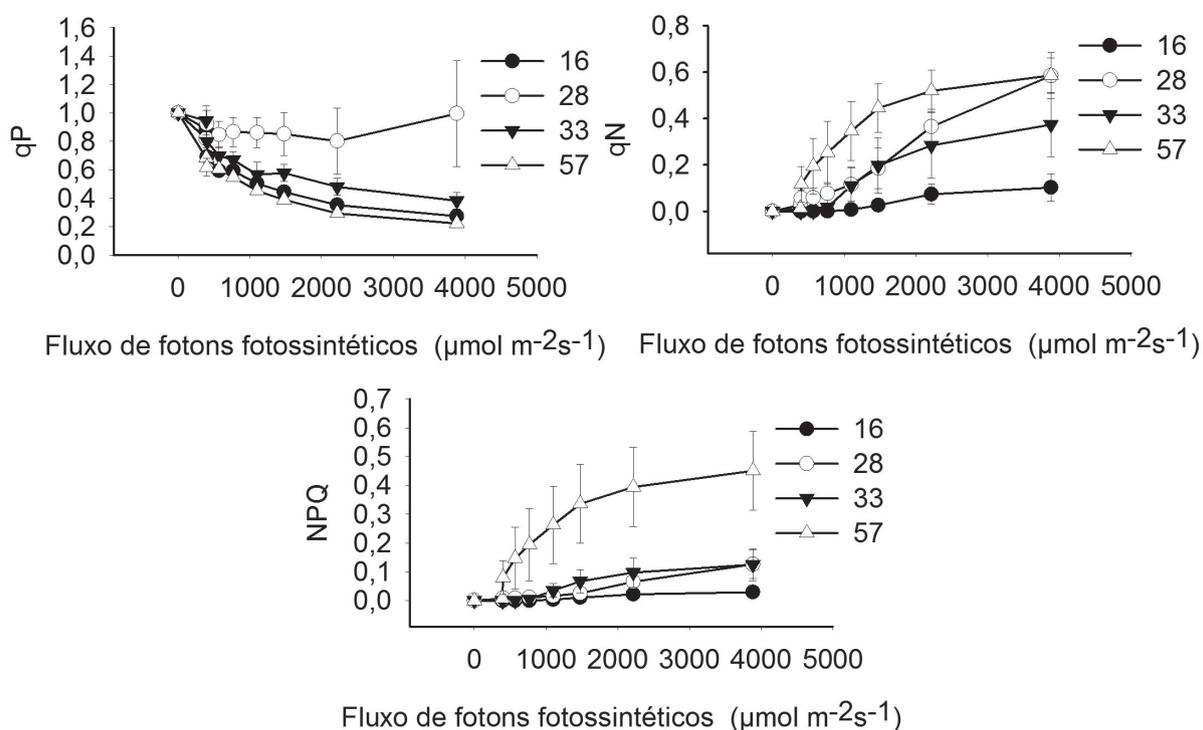


FIGURA 3 - Curva de resposta do coeficiente de extinção fotoquímico (qP), do coeficiente de extinção não-fotoquímico (qN) e do rendimento quântico da dissipação de energia regulada do FSII (ΦNPQ) ao aumento da densidade de fluxo de fótons fotossintetizantes (DFFF), em genótipos de café arábica, em área infestada por *Meloidogyne paranaensis* na estação seca.

Por outro lado, o aumento e os maiores valores de qN e NPQ, na testemunha suscetível, podem ocorrer em virtude da dissipação do calor para proteger as folhas dos danos decorrentes do excesso de excitação das clorofilas (POMPELI et al., 2010). Entretanto, o alto valor de F_m' , associado com alto valor de NPQ, pode indicar menor disponibilidade de energia para o metabolismo do carbono.

Analisando, conjuntamente, os dados de fluorescência da clorofila *a*, em área infestada por nematoide, mais notoriamente sob elevada densidade de fluxo de fótons fotossintetizantes, percebe-se que o genótipo suscetível se caracteriza como um fenótipo capaz de transferir de forma menos eficiente a energia absorvida, para o processo fotossintético, evidenciado, nos menores valores de qP, maiores valores de F e F_m' . Além disso, dissipa mais energia não absorvida nas reações fotoquímicas na forma de calor, demonstrado pelos maiores valores de qN e NPQ.

O genótipo testemunha resistente se caracteriza como um fenótipo que, também, transfere com menor eficiência a energia absorvida para o processo fotossintético, evidenciado nos menores valores de qP. Porém, quando comparado à testemunha suscetível é mais eficiente e capaz de dissipar mais energia não absorvida nas reações fotoquímicas, na forma de calor, demonstrado pelos aumentos de qN e NPQ, porém em menores proporções do que o genótipo suscetível.

Já o genótipo 16 também transfere menos eficientemente a energia absorvida para o processo fotossintético, evidenciado nos menores valores de qP, porém não é mais eficiente do que a testemunha suscetível. E, ainda, não é capaz de dissipar energia não absorvida nas reações fotoquímicas na forma de calor, demonstrado pelos menores valores de qN e NPQ. Diferentemente dos demais, destaca-se o genótipo 28 que se caracteriza como um fenótipo que mantém a capacidade de transferir de maneira eficiente a energia absorvida, para o processo fotossintético, evidenciado na manutenção dos

maiores valores de qP, mesmo sob elevada densidade de fluxo de fótons fotossintetizantes. Ademais, em altas intensidades luminosas, o genótipo 28 é capaz de dissipar mais energia não absorvida nas reações fotoquímicas na forma de calor, demonstrado pelos aumentos dos valores de qN e NPQ.

A fluorescência da clorofila *a* é eficiente na discriminação da variabilidade existente entre os genótipos e pode ser incluída na fenotipagem, visando à tolerância ao nematoide *M. paranaensis*, pois apresenta potencial para avaliações em larga escala, sendo um método pouco invasivo, muito sensível, não destrutivo, rápido, remoto e de relativo baixo custo. A fenotipagem, por meio de características fisiológicas foliares, indica que o genótipo 28, tolerante ao nematoide *M. paranaensis*, apresenta capacidade de aclimação ao déficit hídrico, conforme evidenciado pela manutenção do estado hídrico, trocas gasosas e melhor desempenho fotoquímico, que culmina em maior produção, mesmo com alta população de nematoide nas raízes, caracterizando-o como tolerante ao nematoide.

4 CONCLUSÕES

As características fisiológicas identificam genótipos tolerantes ao *Meloidogyne paranaensis*, em áreas sujeitas ao déficit hídrico, com destaque para a análise de fluorescência da clorofila *a* que apresenta potencial para avaliações em larga escala.

5 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café – INCT/CAFÉ, ao Consórcio de Pesquisa Café e ao proprietário e técnicos da Fazenda Guaiçara.

6 REFERÊNCIAS

- BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review Plant Biology**, Boca Raton, v. 59, p. 89-113, 2008.
- BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematoides de galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 35-44, 2001.
- CARNEIRO, R. M. D. G. et al. *Meloidogyne paranaensis* n.sp. (Nemata: Meloidogynidae), a root-knot nematode parasitizing coffee in Brasil. **Journal of Nematology**, College Park, v. 28, n. 2, p. 177-189, 1996.
- CARVALHO, A. M. et al. Avaliação de progênes de cafeeiros obtidas do cruzamento entre ‘Catuaí’ e ‘Híbrido de Timor’. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 249-253, 2008.
- CASTRO, J. M. C. et al. Levantamento de fitonematoides em cafezais do Sul de Minas Gerais. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 56-64, 2008.
- DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impact of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.
- GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da. (Ed.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. v. 1, p. 343-414.
- HENRIQUES, F. Leaf chlorophyll fluorescence: background and fundamentals for plant biologists. **Botanical Review**, Bronx, v. 75, n. 3, p. 249-270, 2009.
- HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A. Comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. **Plant Disease Reporter**, Beltsville, v. 57, n. 12, p. 1025-1028, 1973.
- ITO, D. S. et al. Progênes de café com resistência aos nematoides *Meloidogyne paranaensis* e raça 2 de *Meloidogyne incognita*. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 156-163, 2008.
- LOSCIALE, P. et al. Quenching partitioning through light-modulated chlorophyll fluorescence: a quantitative analysis to assess the fate of the absorbed light in the field. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 73, p. 73-79, 2011.
- MARRACCINI, P. et al. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 17, p. 1-22, 2012.

- OLIVEIRA, J. G.; ALVES, P. L. D. A.; VITÓRIA, A. P. Alterations in chlorophyll *a* fluorescence, pigment concentrations and lipid peroxidation to chilling temperature in coffee seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 67, n. 1, p. 71-76, 2009.
- POMPELLI, M. F. et al. Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and light availabilities in winter conditions. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 167, n. 13, p. 1052-1060, 2010.
- REZENDE, R. M. et al. Resistencia de progênies de *Coffea arabica* em área infestada por *Meloidogyne exigua*. **Nematropica**, Hope, v. 43, n. 2, p. 233-240, 2013.
- SALGADO, S. M. L.; REZENDE, J. C. de; NUNES, J. A. R. Selection of coffee progenies for resistance to nematode *Meloidogyne paranaensis* in infested area. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 94-101, 2014.
- SERA, G. H. et al. Progênies de *Coffea arabica* IPR100 resistant ao nematoides *Meloidogyne paranaensis*. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 1, p. 43-49, 2007.
- SILVA, P. E. M. et al. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 87, p. 49-57, 2013.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS user's guide: statistics**, version 8.2. 6th ed. Cary, 2001.