

RESISTÊNCIA GENÉTICA E TOLERÂNCIA DO CAFEIEIRO A *H. vastatrix**

Manuel de J. D. Perla¹, Laercio Zambolim², Antônio C. B. de Oliveira³, Eveline T. Caixeta⁴, Carlos H. S. Carvalho⁵

*Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, Cnpq, Fapemig.

¹ Estudante de doutorado, MS, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, mjderas@hotmail.com.

² Professor, PhD, Bioagro-BioCafé, UFV, Viçosa-MG, zambolim@gmail.com.

³ Pesquisador, DSc, Embrapa Café, Epamig, Viçosa-MG. antonio.baiao@embrapa.br

⁴ Pesquisadora, DSc, Embrapa Café, Bioagro/Biocafé, UFV, Viçosa-MG, eveline.caixeta@embrapa.br

⁵ Pesquisador, DSc, Embrapa Café, Fundação Procafé, Varginha-MG, carlos.embrapa@uol.com.br

RESUMO: O emprego de variedades resistentes quando disponíveis constitui a medida mais importante no controle da ferrugem do cafeeiro. Esse trabalho, portanto, visa conhecer o nível de resistência de variedades lançadas no Brasil. Os objetivos foram: (i) avaliar a resistência de genótipos do cafeeiro a ferrugem em condições de campo; (ii) quantificar a produção de progênies de cafeeiro portadoras de resistência e compará-las com a cultivar comercial Catuaí; e (iii) avaliar o teor de clorofila nas cultivares resistentes a ferrugem do cafeeiro e verificar se tem influência com a resistência. Os experimentos foram conduzidos em campo, em Varginha (altitude 1.000 m) e em Viçosa (altitude 650 m), no estado de MG. Vinte e oito cultivares lançados como resistentes foram estudadas durante oito anos. Estudou-se também o teor de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides. Os resultados obtidos mostraram que houve predominância da resistência quantitativa a ferrugem; além disso, encontrou-se variedades, que apresentaram tolerância a ferrugem. De um modo geral, nem todas as variedades mais produtivas foram as que apresentaram menores valores de severidade da ferrugem; aquelas com baixas produtividades, foram as que apresentaram menor severidade. A única variedade das 28 estudadas que foi imune a ferrugem foi Obatã. O desempenho dos genótipos, quanto a resistência à ferrugem e a produtividade, com algumas exceções, diferiram ao longo dos anos, nas duas regiões cafeeiras estudadas. Em relação aos teores de clorofilas e carotenoides, houve grande variação dos valores entre os genótipos, contudo não se obteve correlação com alta ou baixa produtividade e incidência da ferrugem, respectivamente. Em conclusão, diante da rápida perda da resistência qualitativa das variedades de café lançadas ao longo dos anos, recomenda-se em trabalhos de melhoramento genético, buscar nos genótipos de café, a resistência quantitativa e a tolerância a doença pelo fato de ser duradoura e não ser afetada pelo meio ambiente, desde que sejam produtivas.

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea arabica*; *Hemileia vastatrix*; Variedade resistentes; Tolerância; Pigmentos.

GENETIC RESISTANCE AND TOLERANCE OF COFFEE CULTIVARS TO *H. vastatrix*

ABSTRACT. Coffee resistant cultivars is the main control to leaf rust, the main disease of this crop. Therefore, the objective of this study were: (i) to evaluate the resistance of coffee cultivar released as resistant to leaf rust, under field; (ii) to quantify the productivity of the resistant cultivar and to compare with the commercial cultivar Catuaí; and (iii) to evaluate the chlorophyll content of rust-resistant varieties. The experiments were conducted in the field, in Varginha (1,000 m) and in Viçosa (650 m), in the state of Minas Gerais. Twenty-eight cultivars released as resistant were studied for eight years. The content of chlorophyll *a*, *b*, total and carotenoids were also evaluated. The results showed that there was predominance of the quantitative resistance, but some varieties were tolerant to the disease. In general, not all the most productive cultivar were the ones with the lowest severity of rust, and those with low productivity were the ones with the low severity. Only the cultivar Obatã was immune to rust. The performance of the genotypes, with respect to resistance to rust and productivity with some exceptions, differed over the years, in the two coffee regions studied. In relation to the chlorophyll and carotenoid contents, there was a high variation of the values among the genotypes, however, no correlation was found with high or low productivity and incidence of rust, respectively. In conclusion, in view of the rapid loss of the qualitative resistance of the coffee cultivars released, it is recommended in future breeding programs, to seek in the coffee genotypes with quantitative resistance and tolerance to the disease, because it is durable and not affected by the environment.

KEY WORDS: *Coffea arabica*; *Hemileia vastatrix*; Resistant varieties; Tolerance; Pigments.

INTRODUÇÃO

Na década de 1970 a 1980, a UFV recebeu vasto germoplasma de café, oriundo de diversos países da América Central e do Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFIC), Oeiras, Portugal. Os trabalhos concentraram-se em seleção e hibridação nas progênies derivadas de cruzamentos e retrocruzamentos do Híbrido de Timor com variedades comerciais de *C. arabica* (Catuaí, Mundo Novo, etc.). Em 1980, foi lançada a variedade denominada de Catimor, seguida da variedade Cavimor (Zambolim; Caixeta, 2018). Posteriormente, em cooperação com a EPAMIG, foram lançadas 12 cultivares resistentes a ferrugem do cafeeiro, sendo todas derivadas do cruzamento entre *Coffea arabica* L. e diferentes cafeeiros do grupo do Híbrido de Timor (HdT). Outras instituições de pesquisas no país também lançaram

variedades resistentes, tendo como fonte de resistência empregada no cruzamento cafeeiros do grupo HdT e Icatu. O CIFC também enviou progênies oriundas do cruzamento entre o HdT e a variedade Caturra para outros países da América Latina e Central. No entanto, com o passar do tempo, verificou-se que algumas dessas cultivares consideradas resistentes apresentaram pústulas com esporulação do fungo *H. vastatrix* (Várzea; Marques, 2005; Zambolim, 2016; Zambolim; Caixeta, 2018). A perda da resistência à ferrugem, em algumas cultivares portadores dos fatores de resistência, vem ocorrendo com as cultivares tanto no Brasil, América Latina, Central e na Índia. Em Honduras, a variedade Lempira perdeu a resistência em 2016. Diante da constante evolução das raças de *H. vastatrix*, torna-se necessária a avaliação de linhagens e genótipos de cafeeiros ao patógeno. Desta forma, os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar a resistência de genótipos do cafeeiro a ferrugem em condições de campo; (ii) quantificar a produção de progênies de cafeeiro portadoras de resistência e compará-las com a cultivar comercial Catuaí; e (iii) avaliar o teor de clorofila nos cultivares resistentes a ferrugem do cafeeiro e verificar a influência na resistência dos cafeeiros.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimento de campo foi estabelecido em 2006, na UFV, Viçosa, MG a 650 metros, com latitude 20° 45' 14" S e longitude 42° 52' 53" W. O mesmo experimento, também foi estabelecido na Fundação Procafe, no município de Varginha, Minas Gerais a 1000 m, latitude 21° 33' 03" S e longitude 42° 52' 53" W. A produção foi avaliada em litros de “café da roça” por parcela, sendo as colheitas realizadas entre os meses de maio e julho de cada ano, considerando um rendimento médio de 480 litros de “café da roça” para cada saca de 60 Kg de café beneficiado. A produtividade final foi calculada em sacas de 60 kg de café beneficiado ha⁻¹. Do experimento realizado em Varginha foram considerados somente a produção de quatro safras, as de alta produtividade, considerando a bienalidade. Do experimento realizado em Viçosa foi apresentado a média dos 6 anos de produção. Os tratamentos foram constituídos por 28 cultivares com resistência à ferrugem, desenvolvidos pelos diferentes programas de melhoramento genético de cafeeiro arábica do Brasil (Tabela 1). Catuaí Vermelho IAC 15 foi empregado como padrão de suscetibilidade a ferrugem e produtividade do café. O delineamento experimental para ambas as localidades foi em blocos casualizados, com quatro repetições tendo seis plantas por parcelas, implantadas no espaçamento de 3,0 x 1,0.

A incidência da ferrugem foi avaliada, por seis anos agrícolas. A metodologia consistiu na coleta de 10 folhas, no terço médio ao redor das plantas da parcela. O total de folhas colhidas por parcela foi de 60; em seguida foi determinada a porcentagem de incidência da ferrugem. O teor de clorofila *a* e *b* foram obtidos a partir de cinco discos de 0,5 cm de diâmetro de duas folhas do terço médio das plantas, pertencentes ao segundo par de folhas completamente desenvolvida de genótipos de cafeeiros resistentes a ferrugem cultivados em campo. Os discos de folhas foram removidos com auxílio de um furador de rolha e colocados dentro do tubos de ensaio, que continham 5 mL do reagente dimetilsulfóxido (DMSO). Os tubos foram envolvidos em papel alumínio e incubados em temperatura ambiente (25°C) por 48 horas (Pereira et al., 2008). Foram feitas quatro repetições por tratamento. As leituras dos teores de clorofila foram feitas em espectrofotômetro, nos comprimentos de onda de 666, 649 e 480 nm. Os valores para cada comprimento de onda foram utilizados nas equações de Wellburn (1994). Após verificada normalidade da distribuição dos dados, procedeu-se à análise de variância (ANOVA) pelo programa SISVAR (Ferreira, 2014). Os dados obtidos das avaliações de campo foram submetidos aos testes de F e de médias, seguindo o teste de Skott & Knott (Banzatto; Kronka, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, a produção das plantas no experimento foram baixas no município de Viçosa, MG onde empregou-se 300 g de NPK (20-5-20) por planta; para o experimento de Varginha, sul de MG, empregou-se 450 g de NPK (20-5-20) por planta. A recomendação de fertilização oficial para os dois experimentos está acima de 750 g de NPK (20-5-20) por planta. Os resultados da produção e de resistência a ferrugem de 28 cultivares resistentes e da variedade considerada padrão (Catuaí vermelho IAC 15), no município de Varginha, encontram-se na Tabela 1. Optou-se por apresentar os resultados das quatro colheitas, dos anos agrícolas de maior produtividade, devido a bienalidade do cafeeiro. Considerando as médias, a produtividade mínima foi obtida pela cultivar Catuaí vermelho 785/15 (14,86) e a máxima para IPR 103 (51,95). Com relação a resistência das 28 cultivares, observou-se que no ano de 2009 e 2010, a porcentagem de plantas imunes a ferrugem foi 89%; em 2011, 46,4%; em 2013, 35,6%; em 2014, 7,1% e em 2016, 17,8%. Considerando a média da resistência das variedades a ferrugem, a Catuaí vermelho 785/15 obteve o menor valor (32,7%), enquanto o valor máximo de resistência foi de 100 % para Obatã, seguido de H 419-10-6-2-10-1, IAPAR 98, Tupi RN IAC 1669 -13, IPR 99, com 98,5%, 98,5%, 97,9% e 97,1, respectivamente. No grupo de genótipos de maior produtividade com diferença significativa para os outros grupos, observou-se que o genótipo IPR 103 foi o que obteve maior produtividade em dois anos agrícolas consecutivos. Considerando os quatro anos agrícolas, o IPR 103 também obteve a maior média 51,95. A média dos oito genótipos resistentes foi de 42,43. Portanto, os genótipos resistentes produziram 16,1% a mais do que a cultivar padrão (Catuaí Vermelho IAC 15).

Tabela 1. Produtividade¹ e resistência² a ferrugem em genótipos de cafeeiro no município de Viçosa, Minas Gerais.

Genótipos	Produtividade Sc. ben/ha/ Resistência a ferrugem						Produtividade Média Sc.ben/ha/ Resistência
	Ano						
	2008/09	2010/11	2011/12	2012/13	2014	2015/16	
1.Catucaí amarelo 2 SL	30,67b/100 ^a	31,95a/100	/0,0a	58,90c/21,0a	/4,25a	27,75b/79,2c	36,33c/50,75b
2.Catucaí amarelo 24/137	18,60a/100a	43,00b/100	/4,2 ^a	70,70d/37,2b	/0,0a	39,20c/4,2a	43,26d/40,95a
3. Catucaí vermelho 2015 c. 479	22,92a/95,7a	49,47b/95,7	/25,0b	74,35d/83,0c	/8,5a	29,86c/25,0a	44,14d/55,55b
4. Catucaí vermelho 785/15	5,42a/75,0b	11,05a/75,0	/29,2b	22,52a/17,0a	/0,0a	20,53b/0,0a	14,86 ^b /32,70a
5. Catucaí vermelho 2015 c 476	22,02a/100 ^a	28,30a/100	/29,25b	45,70b/45,7b	/0,0a	28,42c/0,0a	31,10c/45,83b
6.Sabiá	26,67b/100 ^a	36,67b/100	/74,5c	30,82a/100c	/78,7d	28,62c/91,5c	31,44c/90,83d
7.Palma II	20,15a/100 ^a	35,27b/100	/95,7c	77,60d/95,7c	/91,5d	33,37c/87,2c	41,59d/95,04d
8.Acauã	25,12b/100 ^a	27,95a/100	/100c	55,85c/100c	/78,7d	33,51c/95,7c	35,59c/95,75d
9.Oeiras MG 6851	34,10b/100 ^a	43,72b/100	/4,2 ^a	62,37c/50,0b	/4,20a	19,74b/8,5a	39,98d/44,50b
10.Catiguá MG1	15,50a/100 ^a	29,05a/100	/91,5c	62,02c/91,5c	/78,7d	40,41c/78,7c	36,73c/90,83d
11.Sacramento MG1	16,42a/100 ^a	24,60a/100	/100c	43,17b/87,2c	/83,0d	32,29c/95,7c	29,12c/94,44d
12.Catiguá MG2	19,22a/100 ^a	36,37b/100	/100c	42,80b/95,7c	/95,7d	26,51c/75,0c	31,22c/94,41d
13.Araponga MG1	26,05b/100 ^a	26,82a/100	/87,2c	49,87c/91,5c	/62,2c	32,34c/62,6c	33,76c/83,95c
14.H 419 - 3 - 3 - 7 - 16 - 4 - 1	30,05b/100 ^a	31,12a/100	/74,5c	42,80b/87,2c	/25,0b	33,55c/91,5c	34,37c/79,70c
15.Pau Brasil MG1	19,22a/100 ^a	19,47a/100	/95,7c	57,30c/100c	/41,5b	40,01c/91,5c	33,99c/88,12c
16.Obatã	35,50b/100 ^a	30,60a/100	/100c	23,22a/100c	/100d	17,68b/100d	27,24b/100,0d
17.IAPAR 59	19,52a/100 ^a	24,27a/100	/100c	22,85a/100c	/91,5d	16,24b/100c	20,71a/98,58d
18.IPR 98	17,37a/100 ^a	23,87a/100	/100c	16,32a/95,7c	/70,7c	8,58a/100c	16,52a/94,41d
19.IPR 99	37,22b/100 ^a	35,47b/100	/100c	50,75c/100c	/87,2d	24,68b/95,7c	37,00c/97,16d
20.IPR 100	23,25a/100 ^a	52,95b/100	/8,5 ^a	56,37c/74,7c	/20,7b	22,49b/20,7b	38,75d/54,12b
21.IPR 103	38,75b/79,2b	54,75b/79,2	/25,0b	77,25d/87,2c	/0,0a	37,10c/12,7a	51,95d/47,25b
22.IPR 104	13,95a/100 ^a	18,25a/100	/100c	28,52a/100c	/95,7d	9,52a/95,7c	17,55a/98,58d
23.H 419 - 10 - 6 - 2 - 5 - 1	21,07a/100 ^a	30,85a/100	/100c	64,90d/100c	/29,5b	40,13c/49,7d	39,24d/79,87d
24.H 419 - 10 - 6 - 2 - 10 - 1	17,70a/100 ^a	33,82b/100	/100c	68,55d/100c	/100d	44,36c/91,5c	41,58d/98,58d
25.H 419 - 10 - 6 - 2 - 12 - 1	17,97a/100 ^a	18,72a/100	/100c	73,25d/79,2c	/49,7c	45,74c/78,7c	38,92d/84,62c
26.Obatã amarelo 4932	11,77a/100 ^a	26,10a/100	/100c	63,45c/100c	/25,0b	25,34b/100c	31,66c/87,50c
27.Tupi RN IAC 1669-13	32,55b/100 ^a	41,07b/100	/100c	53,85c/100c	/87,5d	17,36b/100c	36,29c/97,91d
28.Tupi amarelo IAC 5162	14,87a/100 ^a	19,50/100	/79,0c	28,65a/91,5c	/37,5b	11,76a/66,5c	18,68a/79,08c
Catucaí vermelho IAC 15 (padrão)	26,37b/91,5 ^a	28,30a/91,5	/25,0b	67,42d/12,5a	/0,0a	19,35b/37,7b	35,35c/43,0a
CV (%)	41,46/12,24	40,41/12,24	27,22	27,01/18,69	39,72	36,86/33,58	42,37/43,04

¹Produtividade/resistência a ferrugem; ² resistência a ferrugem. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott & Knott (p=0,05). ³Resultados das quatro colheitas, dos anos agrícolas de maior produtividade.

Considerando as fontes de resistência usadas para obtenção das cultivares, observou-se que os descendentes do Icatu produziram 18,45% a mais do que os Sarchimores; os derivados do Híbrido de Timor (HdT) produziram 19,96% a mais do que os descendentes de Icatu e 34,73% a mais do que os Sarchimores. Esse resultado sugere que os derivados do HdT são mais produtivos do que os Sarchimores e os descendentes do Icatu. Uma possível explicação é que, os derivados do HdT foram originados da hibridação de HdT com a cultivar Catuaí (exceção Oeiras que é derivado do Caturra 19/1) e os Sarchimores com cultivar Vila Sarchi. As linhagens de Catuaí são muito produtivas, superando as de Vila Sarchi. Considerando a média, houve grande variação entre os grupos de cafeeiro com relação a resistência a ferrugem. O grupo dos derivados do Icatu variou de 31,10 (Catuaí Vermelho 2015 cv. 471) a 47,2 (IPR 103); os Sarchimores variaram de 55,0 (IPR 100) a 100,0 (Obatã); os derivados do HdT variaram de 19,1 (Sacramento MG1) a 98,5 (H 419-10-6-2-10-1). Esses resultados sugerem que a resistência dos derivados do HdT apresentaram a maior variabilidade (70,0%) dentro de suas progênes, seguido pelos Sarchimores (45,0%) e derivados de Icatu (3,4%). Das 28 cultivares resistentes somente duas (Catuaí Vermelho 24/137 e Catuaí Vermelho 785/15) tiveram resistência menor do que o padrão Catuaí Vermelho IAC 15. Portanto, 92,85 % das variedades apresentaram resistência a ferrugem, maior do que a variedade padrão. Carvalho et al. (2012) relataram que as variedades Acauã, IAPAR 59 e IPR 103 eram imunes a ferrugem até o ano 2007/2008. No presente estudo, somente a variedade Acauã foi imune; as outras variedades variaram de medianamente resistentes a resistentes. Supõe-se que novas raças de *H. vastatrix* podem ter surgido em campo e infectado as cultivares, aumentando o grau de severidade da doença tornando-as suscetíveis. Até 2008, predominava nos campos de cultivo do estado de Minas Gerais aproximadamente 10 raças (Zambolim et al., 2005). No ano de 2016, já foram identificado cerca de 16 raças do patógeno (Zambolim; Caixeta, 2018) e no ano seguinte encontradas mais as raças XXIX e XXX (Zambolim; Caixeta, 2018). Ao se observar os genótipos com maiores produtividades médias, do grupo dos derivados Icatu, observou-se que o IPR 103 obteve 51,95 com 47,2 % de resistência a ferrugem; para os derivados do HdT, Palma II obteve 41,59 com 95,04 % de resistência, e para os Sarchimores 38,75 para IPR 100 com 55,0 % de resistência, considerando a produtividade em sacos ben./ha. Para os genótipos de menores produtividades médias, do grupo derivado do Icatu, o Catuaí Vermelho 2015 cv 476 apresentou 31,10 com 45,8 % de resistência a ferrugem; para os derivados do HdT Sacramento MG 1, 29,19 com 94,5 % de resistência de ferrugem e para o grupo dos Sarchimores o IPR 98 obteve 16,53 com 94,4 % de incidência a ferrugem, considerando a produtividade em sacos ben./ha. A análise de correlação não mostrou significância entre a médias das maiores produtividades dos genótipos e a menor resistência a ferrugem. As maiores produtividades nem sempre corresponderam ao genótipos que obtiveram

menor resistência a ferrugem; entretanto encontrou-se para determinadas variedades correlação negativa e significativa ($r = 0,85$), entre as menores produtividades dos genótipos de café e alta resistência a ferrugem.

Tabela 2. Produtividade e resistência a ferrugem em genótipos de cafeeiro no município de Viçosa, Minas Gerais.

Genótipos	Produtividade (Sc. ben/ha)	Resistência a ferrugem (%)	Reação a ferrugem Resistente/Suscetível
1.Catucaí amarelo 24/137	27,0 a	63,4 d	S
2.Catucaí amarelo 24/137	27,0 a	63,4 d	S
3.Catucaí amarelo 2SL	22,2 b	77,5 d	S
4.Catucaí vermelho 2015 c 476	18,7 b	58,8 d	S
5.Catucaí vermelho 785/15	10,4 c	63,1 d	S
6.Sabiá	20,4 b	12,5 b	R
7.Palma II	26,2 a	2,4 a	Altamente R
8.Acauã	23,4 b	3,1 c	Altamente R
9.Oeiras MG 6851	24,5 a	68,5 d	S
10.Catiguá MG1	22,2 b	15,6 b	R
11.Sacramento MG1	19,3 b	4,4 a	Altamente R
12.Catiguá MG2	20,0 b	4,5 a	Altamente R
13.Araponga MG1	20,2 b	12,6 b	R
14.H 419 - 3 - 3 - 7 - 16 - 4 - 1	21,1 b	23,4 b	Medianamente R
15.Pau Brasil MG1	22,7 b	13,6 b	R
16.Obatã	16,0 c	0,0 a	Imune
17.IAPAR 59	13,5 c	1,5 a	Altamente R
18.IPR 98	10,4 c	5,0 d	Altamente R
19.IPR 99	21,3 b	20,0 b	R
20.IPR 100	22,5 b	50,3 d	S
21.IPR 103	33,0 a	54,0 d	S
22.IPR 104	12,0 c	1,8 a	Altamente R
23.H 419 - 10 - 6 - 2 - 5 - 1	22,5 b	20,2 b	R
24.H 419 - 10 - 6 - 2 - 10 - 1	26,4 a	1,6 a	Altamente R
25.H 419 - 10 - 6 - 2 - 12 - 1	24,0 a	28,5 a	Medianamente R
26.Obatã amarelo 4932	19,0 b	4,5 a	Altamente R
27.Tupi RN IAC 1669-13	21,0 b	2,5 a	Altamente R
28.Tupi amarelo IAC 5162	13,2 c	23,4 c	Medianamente R
Catucaí vermelho IAC 15 (padrão)	21,1 b	73,0 d	S
CV (%)	18,4	17,2	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott & Knott ($p=0,05$)

Na Tabela 2 encontram-se os resultados da produção dos anos agrícolas e da resistência a ferrugem, no município de Viçosa, Minas Gerais. Em relação a produtividade verificou-se que os genótipos foram agrupados significativamente em três grupos: o primeiro grupo aqueles que obtiveram maior produtividade de 33,0 (IPR 103) a 24,0 (H 419 10-6-2-12-1); o segundo de 23,4 (Acauã) a 18,7 (Catucaí Vermelho 2015 cv 476) e o terceiro de 16,0 (Obatã) a 10,4 (Catucaí Vermelho 785/15) sacas ben./ha. O grupo dos derivados do HdT superou o padrão Catucaí Vermelho IAC 15 em 6,34 % e praticamente igualou ao grupo do Icatu; entretanto superou o grupo Sarchimor em 13,79%. As médias de produção dos grupos derivados do HdT, Icatu e Sarchimor foram 22,53, 20,90 e 18,19 sacas ben./ha. Embora os resultados da produtividade do município de Viçosa fossem menores do que os de Varginha, verificou-se também que os derivados do HdT foram mais produtivos do que os Sarchimores e os descendentes do Icatu. Em se tratando da resistência média da ferrugem, em Viçosa, somente o Obatã foi completamente resistente (imune); a resistência dos outros genótipos variaram de 1,5% (IAPAR 59) a 77,5% (Catucaí Amarelo 2SL). Observou-se que os Sarchimores apresentaram a maior variabilidade (66,63%) dentro de suas progênies, seguido pelos derivados de Icatu (35,2 %) e o grupo derivado do HdT (27,30). Portanto, houve inversão na variabilidade dentro de suas progênies em relação as duas localidades, Viçosa e Varginha. No experimento de Viçosa, somente a cultivar Catucaí Amarelo 2 SL apresentou incidência maior (77,5%) do que o padrão Catucaí Vermelho IAC 15 (73,0%). A única variedade imune do experimento realizado em Viçosa foi Obatã e nenhuma das cultivares citadas por Carvalho et al. (2012) foram imunes. Tanto no experimento de Viçosa quanto no de Varginha, os genótipos com maiores produtividades foram os que apresentaram maior incidência da ferrugem. Em Viçosa, os três genótipos com maiores produtividades médias IPR 103 (33,0), Catucaí Amarelo 24/137 (27,0), Catucaí Amarelo 20/15 cv 79 (26,20) sacos ben./ha, foram aqueles que apresentaram as maiores incidências médias, com 54,0, 63,4, e 48,3%, respectivamente. Em Varginha, os três genótipos de maior produtividade IPR 103,

Catuaí Amarelo 20/15 cv 479 e Catuaí Amarelo 24/137 (51,95, 44,14 e 43,26 sacos ben./ha) foram também os que apresentaram maiores incidências médias, com 52,8, 45,0 e 60,0%, respectivamente. Portanto, dois dos três genótipos foram os que mantiveram alta produtividade em ambos municípios. Tais genótipos parecem adaptar-se bem, em altitudes de 1000 e 650 m com fertilização diferenciada. Os genótipos de menor produtividade média, em Viçosa, Catuaí Vermelho 785/15 (10,4), IPR 98 (10,4), IPR 104 (12,0), IAPAR 59 (13,5), Tupi Amarelo IAC 5162 (13,2) e Obatã (16,0) apresentaram 63,1, 5,0, 1,8, 1,5, 23,4 e 0,0 % de incidência de ferrugem, respectivamente. Portanto, cinco dos seis genótipos que apresentaram baixa produtividade, também tiveram baixa incidência da ferrugem. Em Varginha, os genótipos de menor produtividade média foram IPR 98 (16,53), IPR 104 (17,55), Tupi Amarelo IAC 5162 (18,68) e IAPAR 59 (20,71) com incidência de 5,6, 1,5, 25,6 e 1,5 %, respectivamente. Os genótipos de baixa produtividade em Varginha foram superiores aos de Viçosa e foram os que obtiveram baixa incidência da ferrugem. Os genótipos que apresentaram as maiores produtividades em Viçosa, variando de 24,5 (Oeiras MG 6851) a 33,0 (IPR 103) sacos ben./ha, corresponderam as incidências de 68,5 e 54,0 %, respectivamente. Em Varginha as produtividades do Obatã Amarelo (31,6) e IPR 103 (51,9) sacos ben./ha, corresponderam as incidências de ferrugem de 87,5 e 47,2%. Portanto tais genótipos, podem ser considerados como tolerantes a ferrugem, pois mantiveram altas produtividades mesmo com alta incidência da doença. A tolerância do cafeeiro a ferrugem é uma característica altamente desejável devido principalmente a ineficiência (menos duradoura) da resistência ‘raça específica’ (resistência vertical) e das dificuldades da identificação e quantificação da resistência horizontal (Hartman; Miles; Frederick, 2005). O conceito de tolerância foi aplicado primeiramente a vírus de planta (Schafer, 1971; Trudgill, 1991). Entretanto, Agrios (2005) relatou que a tolerância resulta de características específicas, quantitativas e herdáveis da planta, que embora permitam que o patógeno infecte, colonize e multiplique no hospedeiro, este mantém a produtividade similar ao hospedeiro sadio. Portanto, na tolerância, uma variedade apresenta alta produtividade, independentemente da alta incidência e ou severidade da doença. Os mecanismos genéticos que levam a tolerância a doença são pouco conhecidos e há pouco progresso registrado nessa área desde que a primeira referência à tolerância de plantas feita por COBBE 1884 apud (Schafer, 1971).

Os resultados obtidos para teor de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides, expressos em $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ mostraram que não foram encontradas diferenças significativas para o teor de clorofila *a*, embora os teores variassem de 6,34 (IPR 99) a 8,89 (Palma II). Encontrou-se diferença significativa para clorofila *b*, total e carotenoides: para clorofila *b*, o menor valor foi 3,49 (IPR 100) e o maior valor 9,52 (H 419 10-6-2-12-1); para clorofila total o menor valor foi 10,28 (IPR 100) e o maior valor de 17,91 (H 419 10-6-2-12-1) e para carotenoides o menor valor foi 1,59 (Catiguá MG 2) e o maior 4,10 (Palma II). Embora houvesse grande variação dos valores entre os genótipos, ao contrário ao relato de diversos autores, não se obteve correlação com alta ou baixa produtividade e nem com alta ou baixa incidência da ferrugem. Em decorrência da infecção ocasionada por patógenos, pode ocorrer o desenvolvimento de áreas cloróticas e necróticas na planta, devido aos danos estruturais dos cloroplastos, ocorrendo a redução da clorofila e da produção de assimilados fotossintéticos (Berger et al., 2007). Correlações com a produtividade e teores de pigmentos fotossintéticos da planta têm sido mencionados. Boggs et al. (2003) encontraram correlações positivas com teores de clorofila das folhas e a produtividade de diferentes culturas; dessa forma, a clorofila medida poderia ser utilizada como um indicativo de produtividade; entretanto esse fato não ocorreu com os genótipos de cafeeiro avaliados.

CONCLUSÕES

Os genótipos apresentam comportamento variável, nos diferentes ambientes tanto em relação a produtividade quanto a resistência a ferrugem. O tipo de resistência predominante nos testes em campo foi a resistência quantitativa; entretanto, houve vários genótipos que apresentaram tolerância a doença e merece ser explorada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIOS G.N. Plant pathology. 5ª. ed. [s.l.] Elsevier Academic Press, 2005.
- BANZATTO D.A.; KRONKA S.N. Experimentação agrícola. 4 ed. [s.l.] FUNEP, 2013.
- BERGER S. et al. Plant physiology meets phytopathology : plant primary metabolism and plant – pathogen interactions. Journal of Experimental Botany, 58: 4019–4026, 2007.
- BOGGS, J.L. et al. Relationship between hyperspectral reflectance, soil nitrate-nitrogen, cotton leaf chlorophyll, and cotton yield: A step toward precision agriculture. Journal of Sustainable Agriculture 22 (3): 5-16, 2003.
- CARVALHO A.M. et al. Desempenho agrônomo de cultivares de café resistentes á ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. Bragantia, 71(4):481–487, 2012.
- FERREIRA D.F. SISVAR: a Guide for Its Bootstrap procedures In Multiple comparisons, 38(2):109–112, 2014.
- HARTMAN G.L. et al. Breeding for Resistance to Soybean Rust. Plant disease, 89:6, 2005.
- PEREIRA R. et al. Protocolo para extração de pigmentos foliares em porta-enxertos de videira micropropagados, 55(4):356–364, 2008.
- SCHAFER J.F. Tolerance to Plant Disease. Annual Review of Phytop., 9(1):235–252, 1971.
- TRUDGILL D.L. Resistance to and Tolerance of Plant Parasitic Nematodes in Plants. Annual Review of Phytopathology, 29 (1): 167–192, set. 1991.

VÁRZEA V.M.P.; MARQUES D.V. Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. coffee durable resistance. In: Zambolim, L.; Zambolim E.M.; Várzea V.M.P. (Eds.). Durable resistance to coffee leaf rust. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. p. 53–74.

WELLBURN A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoides, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. J. Plant Physiol., 144. 307-313, 1994.

ZAMBOLIM, L. et al. Physiological races of *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. in Brazil-Physiological variability, current situation future prospects. In: Zambolim L.; Zambolim E.M.; Várzea V.M.P. (Eds.). Durable resistance to coffee leaf rust. Viçosa: UFV, 2005. p. 53–74.

ZAMBOLIM L. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. Tropical Plant Pathology, 41(1):1–8, 2016.

ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T. Ferrugem. In: Zambolim L.; Brenes B.M. (Eds.). Doenças no café no Brasil: Enfermedades del café en Central America. Viçosa, MG: UFV, 2018. p. 17–45.