ISSN 0103-9954

PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS EM CLONES DE SERINGUEIRA SOB ATAQUE DE OÍDIO

PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN HEVEA CLONES UNDER POWDERY MILDEW ATTACK

Gisely Cristina Gonzalez[1] Ana Catarina Cataneo[2] Maira dos Santos Fiori[3] Giselaine de Souza e Silva[4] Martha Maria Mischan[5] Edson Luis Furtado[6]

RESUMO

A seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Müell. Arg.] pode ser afetada pela ocorrência do fungo *Oidium heveae*, causador de uma das mais importantes doenças da seringueira, o oídio. Este trabalho teve o objetivo de conhecer alterações nos pigmentos fotossintéticos, um indicador de estresse oxidativo, em mudas de três clones de *Hevea brasiliensis,* RRIM600, GT1 e PR255, sob infecção por *Oidium heveae.* O experimento foi conduzido em ambiente aberto sob condições fotoperiódicas naturais e no início do período experimental, as plantas de seringueira que seriam infectadas foram pulverizadas com uma suspensão aquosa contendo *Oidium heveae* na concentração de 16 x 10^4 conídios mL^{-1}. No dia da inoculação e após 48, 96 144 e 192 h, foram coletadas amostras foliares para determinação dos pigmentos fotossintéticos. Degradação nos pigmentos fotossintéticos no período de infecção foi observada nos clones de seringueira estudados; portanto, houve estresse oxidativo nos clones de seringueira. Não foi identificado material genético promissor para trabalhos de melhoramento genético visando à tolerância ao estresse por *Oidium heveae.*

Palavras-chave: clorofilas; carotenoides; *Hevea brasiliensis*; *Oidium heveae*.

ABSTRACT

The rubber tree [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. Of Juss.) Muell. Arg.] can be affected by the occurrence of the fungus *Oidium heveae*, which causes one of the most important diseases of rubber trees, powdery mildew. This work meet changes in photosynthetic pigments, an indicator of oxidative stress, in seedlings of three *Hevea brasiliensis* clones*,* RRIM 600, GT1 and PR255, under infection in O*idium heveae*. The experiment was conducted in an open environment under natural photoperiod conditions and at the beginning of the trial, the rubber plants that would be inoculated were sprayed with an aqueous suspension containing *Oidium heveae* at a concentration of 16 x 10^4 conidia mL^{-1}. On the day of inoculation and after 48, 96, 144 and 192 h leaf samples were collected for the determination of photosynthetic pigments. Degradation in photosynthetic pigments in the period of infection was observed in rubber tree clones studied; thus, there is oxidative stress in clones of rubber trees. No promising genetic material for genetic improvement work stress tolerance by *Oidium heveae* was identified.

Keywords: chlorophylls; carotenoids; *Hevea brasiliensis*; *Oidium heveae*.

1 Bióloga, Mestre em Ciência Florestal no Programa de Pós-Graduação na Faculdade de Ciências Agronômicas, Departamento de Produção Vegetal, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Fazenda Experimental Lageado, CEP 18603-970, Botucatu (SP). gybiologia@gmail.com

2 Bióloga, Dr., Professor Adjunto do Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Distrito de Rubião Júnior, s/n, CEP 18603-970, Botucatu (SP). acataneo@ibb.unesp.br

3 Engenheira Florestal, Mestre em Ciência Florestal no Programa de Pós-Graduação na Faculdade de Ciências Agronômicas, Departamento de Produção Vegetal, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Fazenda Experimental Lageado, CEP 18603-970, Botucatu (SP). mairalotus@hotmail.com

4 Engenheira Agronômica, Doutoranda em Ciência Florestal no Programa de Pós-Graduação na Faculdade de Ciências Agronômicas, Departamento de Produção Vegetal, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Fazenda Experimental Lageado, CEP 18603-970, Botucatu (SP). giselainess@hotmail.com

5 Engenheira Agronômica, Dr., Professora voluntária no Instituto de Biociências, Departamento Bioestatística, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Distrito de Rubião Júnior, s/n, CEP 18618-000, Botucatu (SP). mmischan@ibb.unesp.br

6 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Assistente do Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Fazenda Experimental Lageado, CEP 18603-970, Botucatu (SP). elfurtado@fca.unesp.br

Recebido para publicação em 28/10/2011 e aceito em 3/05/2012

INTRODUÇÃO

A seringueira [*Hevea brasieliensis* (Willd. ex Adr. De Juss.) Müell. Arg.], espécie arbórea que possui a maior capacidade produtiva de látex, ao compará-la com outras espécies do mesmo gênero, pode ser afetada pelo fungo fitopatogênico *Oidium heveae* Steinm., uma das mais importantes doenças da seringueira, o qual ocorre com maior intensidade nos países asiáticos; porém, no Brasil, têm sido relatados surtos da doença, principalmente no Estado de São Paulo (FURTADO; SILVEIRA, 1993).

Esse fungo caracteriza-se por ser um parasita obrigatório, cujo crescimento micelial e esporulação conidial se manifestam na forma de eflorescência ou bolor pulvurulento, de coloração branca ou levemente cinza, pode ser encontrada em diversos órgãos vegetais como: meristemas, ramos jovens, flores, frutos em formação e, principalmente, na face superior das folhas. (STADNIK; RIVERA, 2001).

No entanto, uma das principais revelações das pesquisas sobre defesa vegetal é que a resistência a patógenos é usualmente complexa e tem como base a ação combinada a diversos fatores. As defesas vegetais podem ser classificadas como estruturais, baseadas em características anatômicas, e químicas, relacionadas a compostos biologicamente ativos (SHEWRY; LUCAS, 1997). Como exemplos de defesas estruturais têm-se a presença de pêlos, espinhos, tricomas e ceras recobrindo principalmente a superfície de caules e frutos. Já nas substâncias relacionadas à defesa química, destacam-se aminoácidos não proteicos, saponinas, fenóis, alcaloides, quitinases, glucanases, flavonoides, inibidores de proteases e alergenos (BOWLES, 1990).

As defesas estruturais e químicas podem ser suficientes para prevenir a colonização de tecidos vegetais. Porém, se a penetração ocorrer, como mecanismo de resposta, as plantas podem mudar a constituição de compostos moleculares (SHEWRY; LUCAS, 1997) como a ativação do sistema de defesa induzido.

Sob condições de estresse, as plantas podem sofrer mudanças no conteúdo dos pigmentos fotossintéticos, clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total, através da indução de mecanismos bioquímicos e estruturais de resistência nas plantas. A síntese de compostos, como as Espécies Reativas de Oxigênio (EROs), resulta em mudanças na translocação do carbono e do nitrogênio e, com isso, alterações no sistema fotossintético (ALDEA et al., 2006). O ataque por patógenos nas plantas pode reduzir a absorção de luz visível, sugerindo mudanças nas características foliares (EL OMARI et al., 2001), como a destruição dos pigmentos fotossintetizantes, clorofilas *a* e *b*, causando redução da taxa de fotossíntese (SABRI et al., 1997). Pshibytko et al. (2006) relataram que, em plantas de tomate, o fungo *Fusarium oxysporum,* influenciou a supressão da atividade fotossintética das plantas por alterações do centro de reação do fotossistema II, supressão do transporte de elétrons e diminuição da atividade da enzima Rubisco.

A necessidade de novas cultivares de seringueira adaptáveis a diferentes regiões ecológicas constitui um ponto basicamente importante para o sucesso da heveicultura. Um clone se constitui de um grupo de plantas obtidas através da propagação vegetativa de uma única planta matriz. Todas as árvores de um clone possuem a mesma constituição genética, responsável pela uniformidade existente entre elas (GONÇALVES; MARQUES, 2008). Dentre os diferentes tipos de clones de *Hevea brasiliensis* há aqueles que são resistentes ou suscetíveis a *Oidium heveae*, por isso, o uso de clones resistentes é recomendado como medida de controle a esse patógeno (GASPAROTTO et al., 1997). Portanto, esta pesquisa teve o objetivo de avaliar os pigmentos fotossintéticos, clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total, e carotenoides, em três clones de *Hevea brasiliensis*, sob estresse por *Oidium heveae* e elucidar as respostas dos diferentes clones de seringueira infectados por oídio e, possivelmente, identificar material promissor para trabalhos de melhoramento genético visando à tolerância ao estresse por *Oidium heveae.*

MATERIAIS E MÉTODOS

Clones de *Hevea brasiliensis*, RRIM600, GT1 e PR255, obtidos da empresa Polifer S/A, localizada em Macaubal, São Paulo, foram plantados em vasos com capacidade para 10L contendo solo devidamente adubado com NPK e mantidos em ambiente aberto localizado no Departamento de Produção Vegetal – Setor de Defesa Fitossanitária, na Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Campus de Botucatu, sob condições de campo, temperatura média entre 12,9 e 24,2 ^{o}C, umidade relativa de 46,2% e molhadas com água da torneira sempre que necessário. O experimento foi realizado em setembro de 2010.

Os clones foram divididos em dois grupos: plantas sadias e plantas inoculadas. As folhas das

plantas sadias foram pulverizadas com água destilada. A inoculação nos clones de seringueira foi realizada com pulverização nas folhas com suspensão aquosa contendo 16 x 10^4 conídios de *Oidium heveae* conídios mL^{-1}, preparada a partir de folhas de *H. brasiliensis* infectadas por *Oidium heveae* localizadas no Departamento de Defesa Fitossanitária, da Faculdade de Ciências Agronômicas. Ambos os tratamentos foram mantidos durante 12 horas no escuro.

Para estudar as respostas dos clones de seringueira durante o processo infeccioso pelo patógeno, no dia da inoculação e após 48, 96, 144 e 192 h, amostras das folhas foram coletadas, devidamente embaladas, identificadas, congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em *freezer* a -80ºC, para posterior determinação dos pigmentos fotossintéticos no Laboratório de Xenobióticos do Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências, ambos da UNESP, Botucatu, SP.

Os pigmentos fotossintéticos foram extraídos das lâminas foliares com acetona 80%, como descrito no método de Arnon (1949). O extrato cetônico foi utilizado para as leituras de absorbância a 470, 647 e 663 nm. Os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides foram calculados através das fórmulas propostas por Lichtenthaler (1987). Os resultados foram expressos em mg g^{-1} de massa fresca.

Para cada combinação Clone x Tratamento, foi ajustado o modelo polinomial até grau 3 e escolheu-se a equação significativa de maior grau. Foi realizada a análise de variância para cada coleta do experimento inteiramente casualizado com 6 tratamentos em esquema fatorial 3 x 2, sendo 3 clones de seringueira (RRIM600, GT1 e PR255) e 2 tratamentos (plantas infectadas e sadias), em 5 períodos (0, 48, 96, 144 e 192 h) com 8 repetições e três plantas por repetição. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey. Utilizou-se o nível de significância $\alpha = 0,05$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da observação das características visuais de injúria pela infecção por *Oidium heveae*, nos clones de *Hevea brasiliensis* RRIM600, GT1 e PR255, não foram detectados sinais de clorose, bem como de enrugamento dos folíolos durante o período de até 192 horas de infecção.

Observou-se interação significativa, quanto aos teores de clorofila total entre clones de seringueira e infecção por oídio, bem como para os fatores isolados, clone e tratamento (Tabela 1).

No início do período experimental, às 0 h, diferença nos teores de clorofila *b* e total foi observada. O clone RRIM600 apresentou os menores teores desses pigmentos com relação aos clones GT1 e PR255.

Nas plantas de seringueira do clone RRIM600, o oídio causou diminuição de clorofila total a partir das 96 horas de infecção. No clone

TABELA 1: Análise fatorial de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides em plantas de *Hevea brasiliensis,* clones RRIM66, GT1 e PR255, sadias ou inoculadas com *Oidium heveae.* Valores: p = probabilidade de um valor > F.

TABLE 1: Factorial analysis of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids in plants of *Hevea brasiliensis,* clones RRIM600, GT1 and PR255, healthy or inoculated with *Oidium heveae*. Values p = probability of a value> F.

		Tempo (h)				
		0	48	96	144	192
Clorofila *a*	Clone	0,0733	0,6532	0,3000	0,1210	0,0665
	Tratamento	0,7328	0,0179	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Clone x Tratamento	0,8293	0,0335	0,0016	0,0336	0,0179
Clorofila *b*	Clone	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0048	0,5749
	Tratamento	0,0017	0,2344	0,9194	<0,0001	0,4080
	Clone x Tratamento	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,9926
Clorofila total	Clone	<0,0001	0,0397	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Tratamento	0,0026	0,0053	<0,0001	<0,0001	0,0004
	Clone x Tratamento	0,0419	0,0137	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Carotenóides	Clone	0,5937	0,1341	0,0293	0,0016	<0,0001
	Tratamento	<0,0001	0,0048	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Clone x Tratamento	<0,0001	<0,0001	0,0072	0,0002	0,0012

GT1, foi observada diminuição de clorofila total às 96 e 144 h e no clone PR255 às 0, 48 e 192 h de infecção (Tabela 2 e Figura 1). Resposta diferencial dos clones ao longo do tratamento foi observada nos teores de clorofila total. No período de 192 h, maior degradação foi observada no clone PR255, seguido do clone RRIM600; já o clone GT1 caracterizou-se por produzir maiores teores deste pigmento comparado aos demais clones.

Verificou-se interação significativa entre clones de seringueira e infecção nos períodos de 48 a 192 h para teores de clorofila *a* (Tabelas 1, 3 e Figura 2) e nos períodos de 0 a 144 h para teores de clorofila *b* (Tabela 4 e Figura 3). Foi observada diferença significativa entre os clones apenas para o teor de clorofila *b*.

Diante dos resultados, pode-se afirmar que o oídio causa degradação de clorofila total em seringueira. Comparando os resultados de clorofila *a* e clorofila *b*, pode ser evidenciado que a infecção por *Oidium heveae* teve maior efeito sobre a degradação da primeira, principalmente entre 144 e 192 h.

TABELA 2: Comparação das médias (mg g^{-1}) dos teores de clorofila total de clones de *Hevea brasiliensis* sadias e inoculadas com *Oidium heveae*.

TABLE 2: Comparison of averages (mg g^{-1}) of total chlorophyll levels in clones of *Hevea brasiliensis* healthy or inoculated with *Oidium heveae*.

Tempo (h)	Clone	Sadias	Inoculadas
0	RRIM600	1241,581 Ab	1063,505 Ab
	GT1	1322,615 Ab	1340,340 Aa
	PR255	1584,208 Aa	1363,713 Ba
48	RRIM600	1064,668 Ab	1076,220 Aa
	GT1	1135,888 Aab	1082,277 Aa
	PR255	1224,476 Aa	1064,575 Ba
96	RRIM600	1154,392 Ab	980,183 Bb
	GT1	1440,705 Aa	1075,257 Bab
	PR255	1009,527 Ac	1116,254 Aa
144	RRIM600	1171,435 Ab	847,432 Ba
	GT1	1485,705 Aa	907,308 Ba
	PR255	1025,968 Ac	968,412 Aa
192	RRIM600	1171,435 Aa	866,964 Bb
	GT1	949,762 Ab	1101,361 Aa
	PR255	964,075 Ab	722,605 Bb

Em que: Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas entre tratamentos e minúsculas entre clones, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05). CV = 17,58%

Na Tabela 1, observa-se que para os teores de carotenoides ocorreu interação significativa entre clones de seringueira e infecção por *Oidium heveae* em todos os períodos analisados. Ocorreu redução dos teores de carotenoides em plantas de seringueira do clone RRIM600, como efeito da infecção, em todos os períodos analisados (Tabela 5, Figura 4). No clone de seringueira GT1, a diminuição de carotenoides foi verificada às 96 e 144 h e no clone PR255 às 48, 96 e 192 h de infecção.

Pigmentos fotossintéticos são importantes no processo fotossintético das plantas por participarem dos processos de absorção de energia luminosa para posterior transformação da energia em ATP (trifosfato de adenosina) e pelo poder redutor, os quais serão usados na produção de fotoassimilados (MALKIN; NIYOGI, 2000), porém, as células fotossintéticas estão constantemente expostas ao estresse oxidativo, resultante do acúmulo de EROs durante vários processos metabólicos básicos (FOYER et al., 1997).

A geração de EROs pode causar modificações proteicas (GARG; MANCHANDA, 2009), rompimento das cadeias de DNA, peroxidação de lipídios das membranas, causando perda da seletividade e extravasamento de íons (MITTLER et al., 2004), degradação de pigmentos fotossintéticos, dentre estes, as clorofilas (STADINIK; RIVERA, 2001; PSHIBYTKO et al., 2006) e os carotenoides (KIM et al., 2004), que podem levar à morte da planta (MITTLER et al., 2004; APEL; HIRT, 2004;

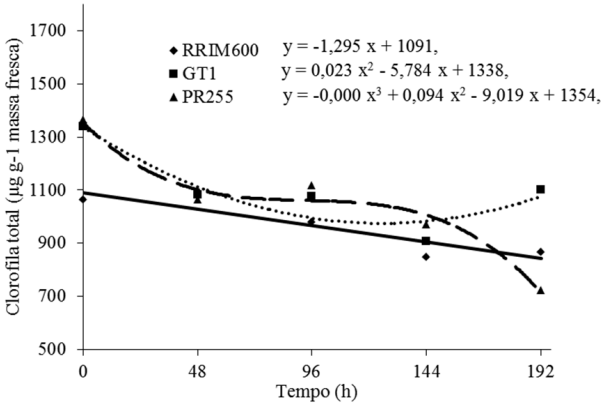

FIGURA 1: Teores de clorofila total em folhas de clones de seringueira, RRIM600 (♦), GT1(■) e PR255(▲), inoculadas com *Oidium heveae* em diferentes períodos.

FIGURE 1: Total chlorophyll in leaves of rubber tree clones, RRIM600 (♦), GT1(■) e PR255(▲), inoculated with *Oidium heveae* in different periods.

TABELA 3: Comparação das médias (mg g^{-1}) dos teores de clorofila *a* de clones de *Hevea brasiliensis* sadias e inoculadas com *Oidium heveae* e avaliadas após 0, 48, 96, 144 e 192 h.

TABLE 3: Comparison of averages (mg g^{-1}) of a chlorophyll levels in clones of *Hevea brasiliensis* healthy or inoculated with *Oidium heveae* and evaluated after 0, 48, 96, 144 and 192 h.

Tempo (h)	Clone	Sadias	Inoculadas	Média
0	RRIM600	820,324	817,418	818,870 a
	GT1	846,188	826,454	836,320 a
	PR255	864,569	869,759	818,870 a
	Média	843,690 A	837,880 A	
48	RRIM600	803,597 Aa	763,153 Aa	800,580
	GT1	793,793 Aa	807,374 Aa	783,380
	PR255	834,870 Aa	731,343 Ba	783,110
	Média	810,750	767,290	
96	RRIM600	821,607 Aa	678,416 Ba	750,010
	GT1	838,237 Aa	710,682 Aa	774,460
	PR255	773,134 Aa	743,404 Aa	758,270
	Média	810,990	710,830	
144	RRIM600	812,490 Aab	620,001 Ba	716,250
	GT1	887,622 Aa	642,779 Ba	765,230
	PR255	797,383 Ab	678,301 Ba	737,840
	Média	832,520	647,030	
192	RRIM600	825,912 Aa	595,159 Ba	710,540
	GT1	774,207 Aa	637,590 Ba	705,900
	PR255	798,970 Aa	510,638 Ba	654,800
	Média	799,700	581,130	

Em que: Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas entre tratamentos e minúsculas entre clones, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05). CV = 12,03%

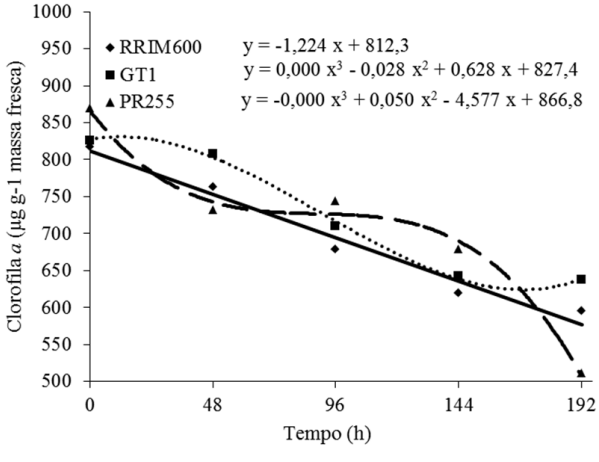

FIGURA 2: Teores de clorofila *a* em folhas de clones de seringueira, RRIM600 (♦), GT1(■) e PR255(▲), inoculadas com *Oidium heveae*.

FIGURE 2: "A" chlorophyll levels in leaves of rubber tree clones, RRIM600 (♦), GT1(■) e PR255(▲), inoculated with *Oidium heveae*.

AGRAWAL; RATHORE, 2007).

Redução na taxa fotossintética (TANG et al., 1996; SADRAS et al., 2000; EL OMARI et al., 2001; STADINIK; RIVERA, 2001; PSHIBYTKO et al., 2006) e na condutância estomática (SADRAS et al., 2000; EL OMARI et al., 2001) são relatadas sob condições de estresse por patógenos. De acordo com Tang et al. (1996), a redução da taxa fotossintética pode estar relacionada à diminuição do conteúdo de clorofila e/ou da ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), mas não apresenta efeito na condutância estomática.

Os resultados do presente estudo são concordantes com diversos trabalhos relacionando degradação de clorofila, como efeito da interação planta-patógeno. De acordo com Holloway et al. (1992), a taxa fotossintética diminui em plantas infectadas por oídio com o progresso da doença, devido à perda progressiva de componentes dos fotossistemas e clorofila durante a infecção. Diminuição no conteúdo de clorofila foi observada em cevadas infectadas por *Erysiphe graminis* (COGHLAN; WALTERNS, 1992) e por *Blumeria graminis* (AKHKHA et al., 2000), em plantas de aveia infectadas por *Erysiphe*

TABELA 4: Comparação das médias (mg g^{-1}) dos teores de clorofila *b* de clones de *Hevea brasiliensis* sadias e inoculadas com *Oidium heveae* às 0, 48, 96, 144 e 192 h.

TABLE 4: Comparison of averages (mg g^{-1}) of b chlorophyll levels in clones of *Hevea brasiliensis* healthy or inoculated with *Oidium heveae* after 0, 48, 96, 144 and 192 h.

Tempo (h)	Clone	Sadias	Inoculadas	Média
0	RRIM600	333,032 Ab	310,513 Ab	321,770
	GT1	383,008 Ab	409,673 Aa	396,340
	PR255	493,101 Aa	356,149 Bab	424,620
	Média	403,050	358,780	
48	RRIM600	293,792 Ab	332,302 Ab	313,048
	GT1	365,609 Aa	319,365 Ab	342,487
	PR255	388,182 Aa	424,936 Aa	406,560
	Média	349,195	358,868	
96	RRIM600	295,243 Ab	295,427 Ab	295,340
	GT1	426,545 Aa	338,575 Bab	382,560
	PR255	301,170 Bb	385,635 Aa	343,400
	Média	340,990	339,880	
144	RRIM600	332,834 Ab	251,923 Ba	292,380
	GT1	402,249 Aa	267,897 Ba	335,070
	PR255	315,364 Ab	296,477 Aa	305,920
	Média	350,150	272,100	
192	RRIM600	287,762	271,974	279,870 a
	GT1	277,502	256,191	294,250 a
	PR255	302,193	286,307	266,850 a
	Média	289,150 A	271,490 A	

Em que: Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas entre tratamentos e minúsculas entre clones, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05). CV = 20,19%

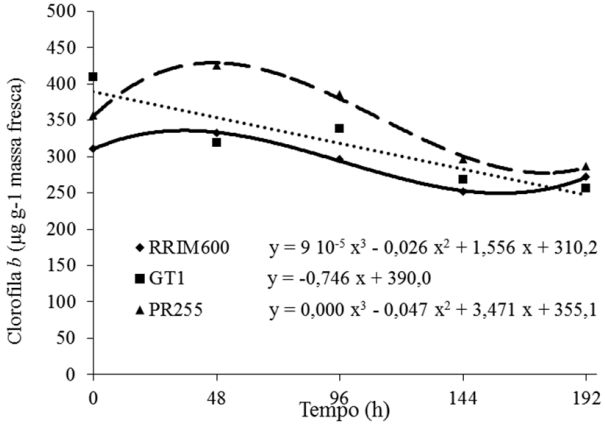

FIGURA 3: Teores de clorofila *b* em folhas de clones de seringueira, RRIM600 (♦), GT1(■) e PR255(▲), inoculadas com conídios de *Oidium heveae*.

FIGURE 3: "B" chlorophyll levels in leaves of rubber tree clones, RRIM600 (♦), GT1(■) e PR255(▲), inoculated with conidia of *Oidium heveae*.

graminis (SABRI et al., 1997) e em plantas de tomate infectadas por *Botrytis cinerea* (KUZNIAK; SKLODOWSKA, 2001).

Os carotenoides são metabólitos que protegem as plantas dos efeitos citotóxicos das EROs (MITTLER, 2006), sendo que a redução destes pigmentos pode acarretar estresse oxidativo, em virtude da degradação oxidativa das clorofilas e da rápida destruição das membranas dos tilacoides pelo excesso de EROs geradas (KIM et al., 2004).

Pode-se observar no presente trabalho que o progresso da infecção por *Oidium heveae* causou degradação de carotenoides em plantas de *Hevea brasiliensis*, principalmente no clone RRIM600.

A determinação dos pigmentos fotossintéticos pode ser utilizada como indicador de estresse oxidativo em plantas de seringueira sob ação do *Oidium hevea,* porém, não foi identificado material genético promissor para trabalhos de melhoramento genético visando à tolerância ao estresse por *Oidium heveae.*

Dentre os parâmetros bioquímicos relacionados ao estresse oxidativo avaliados no presente trabalho, há a necessidade de se realizar pesquisas ava-

TABELA 5: Comparação das médias (mg g^{-1}) dos teores de carotenoides de clones de *Hevea brasiliensis* sadias e inoculadas com *Oidium heveae* às 0, 48, 96, 144 e 192 h.

TABLE 5: Comparison of averages (mg g^{-1}) of carotenoids levels in clones of *Hevea brasiliensis* healthy or inoculated with *Oidium heveae* the 0, 48, 96, 144 and 192 h.

Horas (h)	Clone	Sadias	Inoculadas	Média
0	RRIM600	371,040 Aa	264,534 Bb	317,787
	GT1	323,429 Ab	296,061 Aa	309,745
	PR255	323,662 Ab	301,102 Aa	312,384
	Média	339,377	287,234	
48	RRIM600	318,194 Aa	274,340 Ba	296,267
	GT1	278,039 Ab	307,297 Aa	292,669
	PR255	337,804 Aa	283,911 Ba	310,858
	Média	311,346	288,517	
96	RRIM600	323,479 Aa	237,875 Bb	280,680
	GT1	308,199Aa	300,503 Ba	304,350
	PR255	304,338Aa	239,630 Bb	271,980
	Média	312,066	259,337	
144	RRIM600	348,387 Aa	234,028 Ba	291,210
	GT1	278,914 Ab	227,595 Ba	253,260
	PR255	261,978 Ab	246,727 Aa	254,350
	Média	296,427	236,117	
192	RRIM600	299,283 Aa	222,029 Bb	260,660
	GT1	282,178 Aab	269,833 Aa	276,010
	PR255	247,087 Ab	150,693 Bc	198,890
	Média	276,183	214,185	

Em que: Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas entre tratamentos e minúsculas entre clones, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05). CV = 15,17%

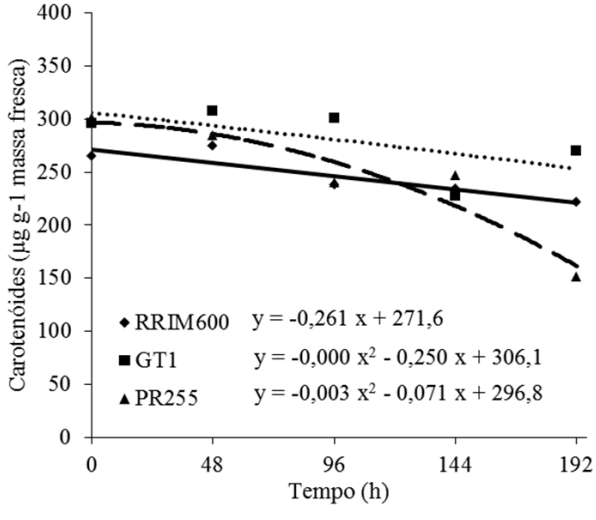

FIGURA 4: Teores de carotenoides em folhas de clones de seringueira, RRIM600 (♦), GT1(■) e PR255(▲), inoculadas com *Oidium heveae*.

FIGURE 4: Carotenoid levels in leaves of rubber tree clones, RRIM600 (♦), GT1(■) e PR255(▲), inoculated with *Oidium heveae*.

liando outros indicadores de estresse oxidativo com a resistência dos clones à infecção por *Oidium heveae*.

CONCLUSÕES

Para as condições em que se desenvolveu a presente pesquisa, pode ser concluído que:

Existe diferença de resposta dos clones de *Hevea brasiliensis* analisados, quanto aos parâmetros indicadores de estresse oxidativo, frente à infecção por *Oidium heveae*;

Constata-se estresse oxidativo nas plantas, evidenciado pela degradação de clorofila total, clorofila *a* e de carotenoides;

Estudos analisando outros parâmetros bioquímicos em plantas de *Hevea brasiliensis* são necessários para verificar a existência de relações indicativas de estresse oxidativo com a resistência à infecção por *Oidium heveae*.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa concedida e ao viveiro Polifer S/A pela doação das mudas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAWAL, S. B.; RATHORE, D. Changes in oxidative stress defense system in wheat (*Triticum aestivum* L.) and mung bean (*Vigna radiate* L.) cultivars grown with and without mineral nutrients and irradiated by supplemental ultraviolet-B. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 59, p. 21-33, 2007.

AKHKHA, A.; CLARKE, D. D.; DOMINY, P. J. Relative tolerances of wild and cultivated barley to infection by *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* (Syn. *Erysiphe graminis* f.sp. *hordei*). II- the effects of infection on photosynthesis and respiration. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 62, p. 347-354, 2000.

ALDEA, M. et al. Comparison of photosynthetic damage from arthropod herbivory and pathogen infection in understory hardwood saplings. **Oecologia**, Berlin, v. 149, p. 221-232, 2006.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 55, p. 373-399, 2004.

ARNON, D. I. Cooper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 24, p. 1-15. 1949.

BOWLES, D. J. Defense related proteins in higher plants. **Annual Review of Biochemistry**, Palo Alto, v. 59, p. 837-907, 1990.

COGHLAN S. E.; WALTERS, D. R. Photosynthesis in green-islands on powdery mildew infected barley leaves. **Physiological and Molecular Plant** Pathology, London, v. 40, p. 31-38, 1992.

EL OMARI, B. et al. Effect of fungal infection on leaf gas-exchange and chlorophyll fluorescence in Quercus ilex. **Annals of Science**, London, v. 58, p. 165-174, 2001.

FOYER, C. H. et al. Hydrogen peroxide and glutathione associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling, **Physiology Plant**, Waterbury, v. 100, p. 241-254, 1997.

FURTADO, E. L.; SILVEIRA, A. P. **Nova ocorrência de oídio da seringueira no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Biológico. 1993. 3 p. (Instituto Biológico. Comunicado Técnico, 3).

GARG, N.; MANCHANDA, G. ROS generation in plants: Boon or bane? **Plant Biosystems**, Essex, v. 143, p. 1-96, 2009.

GASPAROTTO, L. et al. **Doenças da Seringueira no Brasil**. Brasília: Embrapa, 1997.

GONÇALVES, P. de S.; MARQUES, J. R. B. Melhoramento Genético da Seringueira: passado, presente e futuro. In: ALVARENGA, A. P.; Carmo, C. A. F. S. (ed.). **Seringueira**. Viçosa: Epamig. p. 401-407, 2008.

HOLLOWAY, P. J.; MACLEN, D. J.; SCOTT, K. J.; Eletron transport in thylakoids isolated from barley leaves infected by the powdery mildew fungus (*Erysiphe graminis* DC. Ex Merat f. sp. *hordei* Marchal). **New Phytologist**, Liverpool, v. 120, p. 145-151, 1992.

KIM, Y. H. et al. Methanobactin, a copper-acquisition compound from methane- oxidizing bacteria. **Science**, London, v. 305, p. 1612-1615, 2004.

KUŹNIAK, E.; SKŁODOWSKA, M. Ascorbate, glutathione and related enzymes in chloroplasts of tomato leaves infected by *Botrytis cinerea*. **Plant Science**, Clare, v. 160, p. 723-731. 2001

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymology**, New York, v. 148, p. 350-382, 1987.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 11, p. 15-19, 2006.

MITTLER, R. et al. Reactive oxygen gene network of plants. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 9, p. 490-498, 2004.

PSHIBYTKO, N. L., ZENEVICH, L. A.; KABASHNIKOVA, L. F. Changes in the Photosynthetic Apparatus during Fusarium Wilt of Tomato. **Russian Journal Plant Physiology**, Moscow, v. 53, p. 25-31, 2006.

SABRI, N.; DOMINY, N. J.; CLARKE, D. D. The relative tolerances of wild and cultivated oats to infection by *Erysiphe graminis* f.sp. avenae: II The effects of infection on photosynthesis and respiration. **Physiology Molecular and Plant Pathology**, London, v. 50, p. 321-335, 1997.

SADRAS, V. O. et al. Effect of *Verticillium dahliae* on Photosynthesis, Leaf Expansion and Senescence of Field-grown Sunflower. **Annual Botanic**, London, v. 86, p. 1007-1015, 2000.

SHEWRY, P. R.; LUCAS, J. A. Plant proteins that confer resistance to pest and pathogens. **Advances in Botanical Research**, London, v. 26, p. 135-192. 1997.

STADNIK, M. J.; RIVERA, M. C. Oídios. Jaguariúna: Embrapa meio Ambiente. 2001. 484 p.

TANG, X.; ROLEE, S. A.; SCHOLES, S. D. The effect of *Albugo Candida* (white blister rust) on the photosynthetic and carbohydrate metabolism of leaves of *Arabidopsis thaliana*. **Plant Cell Environment**, Oxford, v. 19, p. 967-975, 1996.